



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Ambiental

“Evaluación de calidad del agua de la cuenca del Tomebamba, en función del ancho de los bosques de ribera”

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Ambiental

Autor:

Jaime Andrés Farfán Fajardo

CI: 0105405518

jandres94160@gmail.com

Director:

Dra. María Fernanda Uguña Rosas

CI: 0103782280

Cuenca - Ecuador

05/03/2020

RESUMEN.

En esta tesis se analiza el efecto que tiene el ancho de bosque de ribera sobre la calidad del agua que drena superficial y subsuperficialmente desde la cuenca del río Tomebamba ubicada en el cantón Cuenca, utilizando el Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF) con las ecuaciones aritmética y geométrica. Se evaluaron tres sitios en total, uno sin bosque de ribera con 6 m de ancho, y dos con bosque de ribera de 10 y 15m de ancho respectivamente, analizando muestras de agua a la entrada y salida de cada uno de los sitios, mediante pozos excavados para la acumulación de agua, durante los meses de junio, julio y agosto, en donde se presentaron condiciones de transición de época lluviosa a seca. Se identificó la capacidad de cada escenario para la regulación de los parámetros que conforman el ICA-NSF utilizando la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) y los diagramas de cajas (Box Plot). Posteriormente se calculó la variación entre los ICA de salida y entrada de cada sitio de estudio, para correlacionarlos mediante el coeficiente de correlación de Pearson, con sus respectivos anchos. También se compararon los resultados obtenidos con las dos ecuaciones utilizadas para el cálculo del ICA. Se encontraron índices de Calidad de agua entre “BUENA” y “MEDIA” (predominando la primera) con valores entre 62,38 y 86,37, y presentando valores inferiores los resultados de la ecuación geométrica. Las condiciones de oxígeno disuelto y pH fueron las más desfavorables con subíndices mínimos de 15 y 9 respectivamente. Se obtuvieron índices de correlación negativos cercanos a -1 reflejando una disminución del ICA en los sitios de mayor ancho y con bosque.

Palabras clave: Bosque de ribera. Ancho de bosque. Índice de calidad de agua-NSF. Ecuación geométrica. Ecuación aritmética. Contaminación difusa. Cuenca del río Tomebamba.

ABSTRACT.

In this thesis is analyzed the effect that the width of the riverbank forest has on the quality of the water that drains superficially and subsurface from the Tomebamba's river watershed located in Cuenca's city, using the Water Quality Index of the National Sanitation Foundation (ICA-NSF) with the arithmetic and geometric equations. A total of three sites were evaluated, one without riparian forest 6m wide, and two with riparian forest 10 and 15m wide respectively, analyzing water samples at the entrance and exit of each of the sites, through wells excavated for water accumulation, during the months of June, July and August, where conditions of transition from rainy to dry season were presented. The capacity of each scenario to regulate the parameters that make up the ICA-NSF was identified using the analysis of variance statistical test (ANOVA) and boxplot. Subsequently, the variation between the input and output ICAs of each study site was calculated to correlate them using the Pearson correlation coefficient with their respective widths. The results obtained were also compared with the two equations used to calculate the ICAs. Water quality indexes were found between "GOOD" and "MEDIA" (the former being predominant) with values between 62.38 and 86.37, and the results of the geometric equation were lower. The conditions of Dissolved Oxygen and pH were the most unfavorable with minimum subindexes of 15 and 9 respectively. Negative correlations indexes close to -1 were obtained, reflecting a decrease of the ICA in the sites of greater width and with forest.

Keywords: Riparian forest. Forest width. Water quality index-NSF. Geometric equation. Arithmetic equation. Diffuse pollution. Tomebamba's river watershed.

INDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
INDICE DE CONTENIDOS.....	4
INDICE DE TABLAS.....	7
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	8
AGRADECIMIENTOS.....	12
DEDICATORIA.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo general.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Descripción general de la subcuenca del Tomebamba.....	17
2.1.1 Características generales.....	17
2.1.2 Clima.....	17
2.1.2.1 Temperatura.....	17
2.1.2.2 Precipitaciones.....	17
2.1.3 Uso de suelo.....	18
2.2 Bosques de ribera.....	18
2.2.1 Funciones de los Bosques de Ribera.....	19
2.2.2 Bosques de ribera en la calidad de agua.....	20
2.2.2.1 Bosques de ribera en la reducción de sedimentos y erosión de suelo.....	20
2.2.2.2 Bosques de ribera en el control de nutrientes.....	21
2.2.2.3 Bosques de ribera en el control de patógenos.....	23
2.2.2.4 Bosques de ribera en el control de temperatura.....	23
2.2.3 Factores de los que dependen los bosques de ribera.....	24
2.3 Índice de calidad de agua.....	25
2.3.1 Aspectos generales.....	25



2.3.2 Índice de calidad de agua NSF (National Sanitation Foundation).....	25
2.3.2.1 Calculo del ICA NSF.....	26
2.4 Manejo de bosques de ribera en la cuenca del Tomebamba	29
2.5 Marco Legal.....	30
3. METODOLOGÍA.....	31
3.1 Identificación de puntos de muestreo.....	31
3.2 Preparación de los puntos de muestreo.....	32
3.3 Etapa de muestreo y análisis.....	35
3.3.1 Campañas para la toma de muestras.....	35
3.3.2 Toma y análisis de muestras.....	36
3.3.3 Equipos.....	37
3.4 Determinación del ICA NSF.....	39
3.5 Determinación de capacidad de bosques ribereños en la regulación de parámetros fisicoquímicos y biológicos.....	40
3.6 Comparativa de los ICAs aritmético y geométrico.....	41
3.7 Influencia del ancho de bosque de ribera en la calidad del agua.....	41
4. RESULTADOS.....	42
4.1 Resultados de los análisis Físico-Químicos y Microbiológicos.....	42
4.1.1 Resultados del primer muestreo.....	42
4.1.2 Resultados del segundo muestreo.....	44
4.1.3 Resultados del tercer muestreo.....	45
4.2 Resultados del Índice de Calidad de Agua.....	46
4.2.1 Resultados de cálculo del ICA con ecuación aritmética.....	46
4.2.2 Resultados de cálculo del ICA con ecuación geométrica.....	48
4.2.3 Comparación de Resultados del ICA-NSF con ecuación aritmética vs geométrica.....	50
4.3 Resultados de la capacidad de bosques en la regulación de parámetros físico- químicos y biológicos.....	54
4.3.1 Prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) e intervalos de confianza.....	54



4.3.2 Diagrama de cajas (Box plot) de los resultados de efectividad.	55
4.3 Correlación entre ancho de bosques de ribera y los ICAs.....	58
4.3.1 Correlación del ancho de bosques ribera vs variación de los ICAs (ecuación aritmética)	58
4.3.1 Correlación del ancho de bosques ribera vs variación de los ICAs (ecuación geométrica).	59
4.4 Variación de los subíndices Q_i en función de los anchos de bosques de ribera. 61	
4.4.1 Variación del subíndice del Oxígeno Disuelto.....	61
4.4.2 Variación del subíndice del pH.	62
4.4.3 Variación del subíndice de la DBO_5	63
4.4.4 Variación del subíndice de la diferencia de Temperatura.	64
4.4.5 Variación del subíndice de los Fosfatos.....	65
4.4.6 Variación del subíndice de los Nitratos.	66
4.4.7 Variación del subíndice de la Turbiedad.	67
4.4.8 Variación del subíndice de los Sólidos Totales.	68
5. DISCUSIÓN.	70
6. CONCLUSIONES.....	73
7. Recomendaciones.....	75
BIBLIOGRAFIA.	76
ANEXOS.	83

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Parámetros y pesos de importancia del ICA NSF.....	26
Tabla 2. Criterio de clasificación de calidad de agua (ICA NSF).	26
Tabla 3. Codificación, ubicación y características de los puntos de muestreo.....	32
Tabla 4. Fechas de muestreo.	35
Tabla 5. Datos de precipitación mensual [mm] 2018–2019 de las estaciones Patoquinas y Matadero.....	35
Tabla 6. Equipos y ensayos usados durante el monitoreo.	39
Tabla 7. Resultados obtenidos durante el primer muestreo.	44
Tabla 8. Resultados obtenidos durante el segundo muestreo.....	44
Tabla 9. Resultados obtenidos durante el tercer muestreo.	45
Tabla 10. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación aritmética (Primer Muestreo). 46	
Tabla 11. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación aritmética (Segundo Muestreo).	47
Tabla 12. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación aritmética (Tercer Muestreo). 48	
Tabla 13. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación geométrica (Primer Muestreo).	48
Tabla 14. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación geométrica (Segundo Muestreo).....	49
Tabla 15. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación geométrica (Tercer Muestreo).	50
Tabla 16. Comparativa de resultados del ICA obtenidos con ecuación aritmética y geométrica.	51
Tabla 17. Diferencia porcentual entre resultados del ICA (ecuación aritmética respecto geométrica).	53
Tabla 18. Tabla de resultados de la prueba estadística de ANOVA y de los intervalos de confianza.....	54
Tabla 19. Correlación entre anchos de bosque y variaciones de los ICAs con ecuación aritmética.	58
Tabla 20. Correlación entre anchos de bosque y variaciones de los ICAs con ecuación geométrica.	60

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Mapa de usos de suelo de la Subcuenca del Tomebamba.....	18
Ilustración 2. Curva de función para DBO5.....	27
Ilustración 3. Curva de función turbidez.....	27
Ilustración 4. Curva de función Sólidos Totales.. ..	27
Ilustración 5. Curva de función para Coliformes.	27
Ilustración 6. Curva de función para Nitratos.	27
Ilustración 7. Curva de función Cambio de T°.	27
Ilustración 8. Curva de función % de saturación de Oxígeno.....	28
Ilustración 9. Curva de función para pH.....	28
Ilustración 10. Curva de función para Fosfatos.....	28
Ilustración 11. Mapa de ubicación de los bosques de ribera reforestados en la Subcuenca del Tomebamba.....	30
Ilustración 12. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.	31
Ilustración 13. Excavación de los pozos P1A y P1B.	33
Ilustración 14. Impermeabilización del fondo del pozo.....	34
Ilustración 15. Colocación de la bandeja para acumular agua.	34
Ilustración 16. Cubrimiento del pozo para evitar el ingreso directo de lluvia.	34
Ilustración 17. Medición de parámetros in-situ mediante el equipo multiparámetro....	36
Ilustración 18. Medición de niveles de turbiedad.	37
Ilustración 19. Estimación de Coliformes totales y fecales.....	37
Ilustración 20. Medición de sólidos suspendidos.	37
Ilustración 21. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para el OD durante los tres muestreos.	55
Ilustración 22. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para el $\square T$ durante los tres muestreos.	55
Ilustración 23. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para la DBO5 durante los tres muestreos.....	56
Ilustración 24. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para el pH durante los tres muestreos.....	56
Ilustración 25. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para los fosfatos durante los tres muestreos.	57
Ilustración 26. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para los nitratos durante los tres muestreos.....	57
Ilustración 27. Diagrama de cajas de efectividad de los puntos P1, P2 y P3 para la turbiedad durante los tres muestreos.	57

Ilustración 28. Diagrama de cajas de efectividad de los puntos P1, P2 y P3 para los ST durante los tres muestreos.....	57
Ilustración 29. <i>Variación de los ICAs (aritmético) en función de anchos de bosque de ribera.....</i>	59
Ilustración 30. Variación de los ICAs (geométrico) en función de anchos de bosque de ribera.....	61
Ilustración 31. <i>Variación del subíndice Qi (Oxígeno Disuelto) en función de anchos de bosque de ribera.</i>	62
Ilustración 32. Variación del subíndice Qi (pH) en función de anchos de bosque de ribera.....	63
Ilustración 33. Variación del subíndice Qi (DBO5) en función de anchos de bosque de ribera.....	64
Ilustración 34. <i>Variación del Subíndice Qi (ΔT°) en función de anchos de bosque de ribera.....</i>	65
Ilustración 35. Variación del Subíndice Qi (Fosfatos) en función de anchos de bosque de ribera.....	66
Ilustración 36. Variación del Subíndice Qi (Nitratos) en función de anchos de bosque de ribera.....	67
Ilustración 37. Variación del subíndice Qi (Turbiedad) en función de anchos de bosque de ribera.	68
Ilustración 38. Variación del Subíndice Qi (Sólidos Totales) en función de anchos de bosque de ribera.	69
Ilustración 39. Primer punto de muestreo (P1) sin bosque de ribera.....	83
Ilustración 40. Segundo punto de muestreo (P2) con bosque de ribera de 10m de ancho.	83
Ilustración 41. Tercer punto de muestreo (P3) con bosque de ribera de 15m de ancho.	84
Ilustración 42. Condiciones de saturación del suelo en los sitios de muestreo.	84
Ilustración 43. Fertilización en laderas utilizando gallinaza.	85
Ilustración 44. Tala de vegetación nativa e implementación de ganadería.	85
Ilustración 45. Informe de resultados del primer muestreo emitido por el laboratorio.	86
Ilustración 46. Informe de resultados del segundo muestreo emitido por el laboratorio.	87
Ilustración 47. Informe de resultados del tercer muestreo emitido por el laboratorio. .	88



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jaime Andrés Farfán Fajardo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de calidad del agua de la cuenca del Tomebamba, en función del ancho de los bosques de ribera", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de marzo de 2020

Jaime Andrés Farfán Fajardo

CI: 0105405518



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jaime Andrés Farfán Fajardo, autor del trabajo de titulación "Evaluación de calidad del agua de la cuenca del Tomebamba, en función del ancho de los bosques de ribera", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 5 de marzo de 2020

Jaime Andrés Farfán Fajardo

CI: 0105405518

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. Juan Segarra y al Departamento De Gestión Ambiental de ETAPA EP. por haberme dado la apertura para la realización de este trabajo, así como el apoyo brindado durante todo el proceso de desarrollo del mismo.

A mi tutora Dra. Fernanda Uguña por brindarme su ayuda para la correcta realización del proyecto de titulación, así como también sus ánimos y consejos más allá de la índole académica.

También me gustaría extender mis agradecimientos al Dr. Giovanni Larriva por los conocimientos compartidos y el apoyo brindado para la realización de los análisis de agua, así como estar siempre presto a brindar ayuda en lo que necesitaba.

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo a toda mi familia por el apoyo y cariño incondicional durante todos estos años de formación académica, especialmente a mis padres Benito y Lucía quienes fueron mi principal motivación para el cumplimiento de esta meta, así como también para la fijación de nuevas, además de brindarme sus enseñanzas y consejos con miras a ayudarme a mejorar como persona. A mis amigos y compañeros quienes hicieron de mi vida universitaria una experiencia muy grata e inolvidable.

Por último, y no menos importante, dedico este trabajo a mi novia Karen por siempre presionarme a seguir adelante y brindarme su apoyo incondicional especialmente cuando más lo necesité.

1. INTRODUCCIÓN.

La subcuenca del río Tomebamba es considerada una de las más emblemáticas y representativas de la ciudad de Cuenca, debido fundamentalmente a los múltiples servicios ambientales que de ella recibimos, entre ellos uno de los más importantes, el agua (Pesántez, 2015). Con el pasar del tiempo la actividad antrópica en la cuenca del río Tomebamba ha ido incrementado, actividades que generan presión para el recurso hídrico tales como: la actividad turística, las prácticas ganaderas y agrícolas, piscícolas, restaurantes, e incluso plantaciones de especies exóticas como el pino (Carrasco et al., 2010). La presencia de la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal ha provocado el emplazamiento de diferentes actividades comerciales, principalmente piscícolas y restaurantes que como toda actividad antrópica genera contaminación. Adicionalmente las prácticas ganaderas y agrícolas existentes en la zona son una fuente de contaminación difusa importante; todas estas actividades pueden producir un impacto considerable en la calidad del agua del río Tomebamba debido, en la mayoría de sus casos, a su cercanía con este cuerpo de agua.

A raíz de estos problemas, en esta subcuenca se han venido implementando varias estrategias de protección y conservación, como por ejemplo, la declaratoria de Áreas de Bosque y Vegetación Protectora (ABVP) (Pesántez, 2015). Uno de los actores principales para la protección de la subcuenca es ETAPA-EP, que dentro de las funciones que le corresponden, están las de proteger las fuentes y cursos de agua de uso actual (Jouravlev, 2003), razón por la cual, como una de las medidas adoptadas se ha llevado a cabo un proyecto de reforestación de las riberas del río Tomebamba para ayudar a mitigar los impactos de dichas actividades antrópicas, sin embargo, no se sabía cuál es el impacto que estas franjas verdes están teniendo sobre la calidad del agua que está drenando hasta el río.

El río Tomebamba proporciona el agua utilizada en la planta de potabilización El Cebollar, la cual suministra de agua potable a cerca de la mitad de los habitantes de la urbe de Cuenca (Jouravlev, 2003), por lo que su protección y correcto manejo resultan de vital importancia para asegurar el bienestar de la población así como de los ecosistemas que de esta fuente hídrica dependen.

Es por todo lo expuesto anteriormente que se vió la necesidad de la realización de este estudio, que busca responder a la pregunta de si el ancho de las franjas de vegetación ribereña influencia en la capacidad de los mismos para atenuar la presencia de agentes físicos, químicos y biológicos que afectan la calidad del agua,

que son provenientes de fuentes difusas de descarga, principalmente ganadera y agrícola, y arrastrados por el agua en la cuenca del Tomebamba.

Con la finalidad de responder a esta interrogante se determinó la calidad de tres puntos diferentes de la subcuenca media-alta del Tomebamba mediante la metodología establecida por la National Sanitation Foundation y posteriormente se lo correlacionó con diferentes anchos de bosque de ribera.

1.1 Objetivos.

1.1.1 Objetivo general.

- Evaluar la calidad del agua de la cuenca del Tomebamba, en función del ancho de los bosques de ribera.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Determinar la capacidad de los bosques ribereños para retener o regular parámetros físicos-químicos y biológicos del agua que fluye desde la cuenca del Tomebamba hacia el río del mismo nombre.
- Identificar la variación de la calidad del agua que los bosques de ribera generan y comparar los resultados entre las ecuaciones geométrica y aritmética usadas en el sistema NSF.
- Comparar los resultados obtenidos en los diferentes puntos de muestreo y la correlación de estos resultados con el ancho de bosque.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Descripción general de la subcuenca del Tomebamba

2.1.1 Características generales

La Subcuenca del río Tomebamba se encuentra en la provincia del Azuay, formando parte de la Cuenca alta del Río Paute y posee una superficie aproximada de 338 km² (Montalván, 2018). La mayor extensión de su territorio se encuentra dentro de la parroquia Sayausí (80%) y en menor proporción dentro la parroquia San Joaquín y en la zona urbana de Cuenca (14% y 6% respectivamente) (Pesántez, 2015). Esta subcuenca a su vez se encuentra conformada por 7 microcuencas, las cuales son: Matadero alto, Llaviuco, Matadero Bajo, Culebrillas, Mazan, Pinchishana y Tomebamba (Peñafiel, 2014).

La subcuenca es de vital importancia, no solo por su riqueza ecosistémica, sino también porque es el punto donde se origina los afluentes principales que dan lugar al río del mismo nombre, que es utilizado para captar el agua que alimenta a la planta potabilizadora del cebollar y que abastece a aproximadamente la mitad de la población de la urbe de Cuenca (Jouravlev, 2003).

2.1.2 Clima

2.1.2.1 Temperatura

La Subcuenca del Tomebamba se encuentran dentro de dos pisos climáticos: frío andino y templado interandino, mismos que se caracterizan, entre otras cosas, por tener temperaturas bajas (Montalván, 2018). De acuerdo al plan de ordenamiento territorial de la parroquia Sayausí (2015) las temperaturas en las regiones más altas, es decir en la zona del parque Nacional Cajas oscila alrededor de entre 1 a 10 grados Celsius, a medida que se disminuye la altitud la temperatura incrementa ligeramente, ubicándose en el rango de entre 10 a 15 grados Celsius (Sayausí, 2015).

2.1.2.2 Precipitaciones

La zona de la subcuenca del Tomebamba se la considera como productora de agua, debido al alto promedio de pluviosidad que cae a lo largo del año, llegando a rondar entre los 1050 y 1250 mm/año (Sayausí, 2015). La precipitación promedio mensual en esta subcuenca se estableció en alrededor de 84mm/mes de acuerdo al análisis de datos meteorológicos recopilados entre los años 2015 a 2017 (Belesaca & Peláez, 2018). De igual manera, a partir de un análisis de 10 años de datos (2003 a 2013) obtenidos de la Red Hidrometeorológica Unificada de la cuenca del Paute, específicamente la estación ubicada en el sector del matadero, se estableció dos períodos lluviosos entre los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre

(Pesántez, 2015), sin embargo comparando estos datos y los obtenidos durante el año 2015, existe una coincidencia en que los meses de menor precipitación están comprendidos entre los meses de agosto y septiembre (Condo & Juela, 2017).

2.1.3 Uso de suelo

La cuenca del Tomebamba está conformada mayormente por páramo, que abarca alrededor del 70% de su superficie total (Rojas & Melchor, 2016), seguido de bosques nativos que ocupan aproximadamente el 10,6% de la subcuenca (Pesántez, 2015). Pastizales y cultivos representan cerca del 11% de usos de suelo en esta zona (Rojas & Melchor, 2016) pero el 7,29% es utilizado netamente para actividades agropecuarias (Sayausí, 2015).

Al observar el mapa de usos de suelo (**Ilustración1**), se puede apreciar que las zonas de pastizales y cultivos se encuentran en las cercanías a los ríos que forman parte de esta subcuenca, representando una amenaza para la calidad del agua.

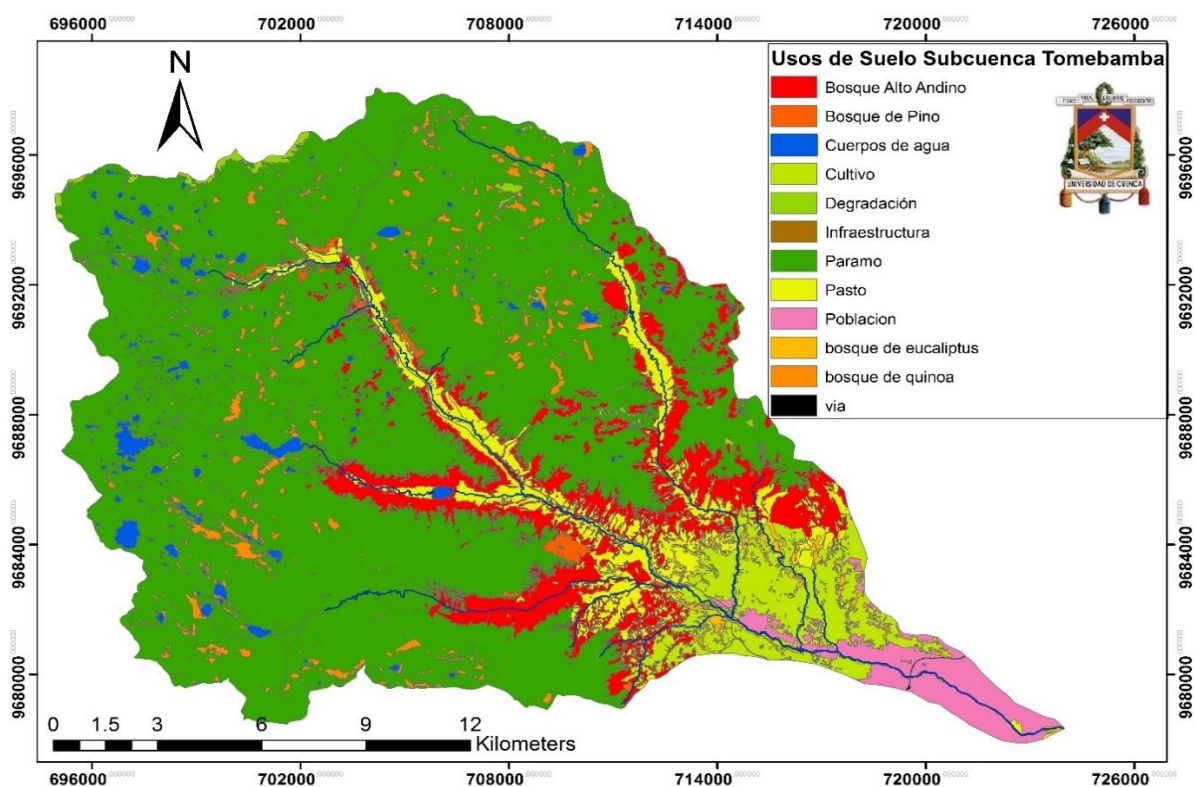


Ilustración 1. Mapa de usos de suelo de la Subcuenca del Tomebamba.

Fuente: ETAPA EP.

Elaboración: Autor

2.2 Bosques de ribera

Los bosques riparios o de ribera, que también se los conoce con otros nombres tales como franjas de amortiguamiento, franjas de filtraje, vegetación de ribera (Gayoso & Gayoso, 2003), etc.; son áreas de transición entre hábitats fluviales y terrestres (MENDOZA CARIÑO et al., 2014) próximas a los cauces de los ríos, lagos, riachuelos y humedales, y que cumplen la función de disminuir el impacto de las actividades realizadas en las laderas (Gayoso & Gayoso, 2003), al trabajar como barreras físicas ante la entrada directa de contaminación difusa desde las fuentes (Arcos et al., 2006), mediante la filtración y retención de sedimentos al igual que de contaminantes (Vigiak et al., 2007). Los bosques de ribera no tienen únicamente una importancia hidrológica, ya que ecológicamente también juegan un rol crucial, pudiendo permitir una rica diversidad tanto de plantas como de animales, no solo terrestres sino también acuáticos, debido a que albergan y preservan sus hábitats (Si & Maynor, 2016).

2.2.1 Funciones de los Bosques de Ribera.

Como se mencionó anteriormente, los bosques riparios realizan un trabajo indispensable para mejorar aspectos ecológicos e hidrológicos. Dentro de las múltiples funciones que estas franjas de vegetación cumplen, se encuentran:

- Mejoramiento de la calidad del agua mediante el filtrado de sedimentos, contaminantes, y nutrientes provenientes del uso del suelo en zonas adyacentes (Mendoza et al., 2014), específicamente de fuentes de contaminación difusa como la ganadería y agricultura (Möller, 2011).
- Ayudan en la acumulación o almacenamiento de aguas superficiales (Möller, 2011), así como también favorecen a la creación de zonas para la recarga de aguas subterráneas (Magdaleno, 2011).
- Evitan la erosión del suelo en el que se encuentran, y proporcionan firmeza y estabilidad a los márgenes de los cursos de agua (Mendoza et al., 2014).
- Regula el microclima en el agua así como en el suelo adyacente (Mander et al., 1997).
- Generan un hábitat ideal para especies animales y vegetales acuáticas y terrestres, al aportar con condiciones microclimáticas favorables, refugio, disponibilidad de agua, y aporte de materia orgánica y nutrientes (Magdaleno, 2013).
- Trabajan como corredores ecológicos para mejorar la biodiversidad (Magdaleno, 2011).

En los siguientes apartados se abordará la importancia de los bosques de ribera primordialmente desde un enfoque hidrológico, los factores que rigen su efectividad, y la interacción que estos tienen con el agua para el mejoramiento de su calidad.

2.2.2 Bosques de ribera en la calidad de agua.

El flujo del agua y contaminantes a través de los bosques de ribera es un proceso complejo, debido a que la funcionalidad de estos depende de tres zonas: la superficie vegetal, la zona radicular y por último el subsuelo. Una vez que el flujo superficial entra en el bosque se produce la infiltración seguida por la saturación del suelo poco profundo, una vez saturado el suelo parte del agua se moviliza como flujo superficial. En la zona radicular parte del agua se infiltra más profundamente en el subsuelo debido a los macroporos y el mejoramiento de la estructura del suelo generado por las raíces y la actividad biológica, mientras que el remanente se transforma en flujo subsuperficial lateral (Grismer et al., 2006).

Esta dinámica básicamente logra la reducción de la erosión e incremento de la retención de sedimentos, complementado con el incremento en la capacidad de infiltración de los suelos, se da la filtración y retención de otros contaminantes que son arrastrados con el agua (Hamilton, 2009). A continuación, se detalla cómo se da la interacción entre los bosques de ribera y varios componentes que influyen en la calidad de agua.

2.2.2.1 Bosques de ribera en la reducción de sedimentos y erosión de suelo.

Los sedimentos hacen referencia a partículas de suelo que llegan a cuerpos de agua (Klapproth & Johnson, 2009), como consecuencia de la erosión de los suelos, que genera una disminución en su capacidad de retener agua y por ende generando una predominancia de flujo superficial (Hamilton, 2009). Los sedimentos en los cuerpos de agua pueden producir considerables efectos tanto en la calidad de agua como en la vida acuática (Klapproth & Johnson, 2009).

Una de las maneras en la que los bosques de ribera retienen los sedimentos desde el flujo superficial de agua, es mediante la reducción de su velocidad, debido a la resistencia que la vegetación genera, facilitando así la sedimentación de las partículas de mayor tamaño. Adicionalmente, el incremento en la capacidad de infiltración que se da en los suelos del bosque, minimiza la cantidad de escorrentía superficial, reduciendo el transporte de sedimentos (Polyakov et al., 2005).

El incremento en la capacidad de infiltración del suelo mencionado anteriormente también juega otro papel importante en la retención de sedimentos, ya que las partículas más finas que no sedimentan, pueden

quedar retenidos en los pequeños poros del suelo una vez que estas se infiltran con el agua (Granados et al., 2006). Parte de dichas finas partículas también pueden ser retenidas a causa de las fuerzas electrostáticas que actúan en la superficie de la vegetación (Polyakov et al., 2005).

Cabe destacar que la capacidad de los bosques de ribera para atrapar sedimentos se ve reducida a medida que el tamaño de partículas disminuye (Polyakov et al., 2005), aquellos sedimentos de mayor tamaño sedimentan más rápido, mientras que las partículas finas necesitan de zonas de vegetación más anchas para una mayor tasa de retención (Bentrup, 2008).

Por otro lado, las raíces de la vegetación ribereña ayudan a evitar la erosión de los márgenes de los ríos, debido a que el entrelazado de las raíces afirman el suelo de la ribera, y disminuye la pérdida de material que se genera por el movimiento del agua de los ríos (Granados et al., 2006).

2.2.2.2 Bosques de ribera en el control de nutrientes.

Los nutrientes son componentes fundamentales para los ecosistemas acuáticos, de hecho su ingreso en los cuerpos de agua es algo completamente natural, ya sea por nutrientes contenidos en residuos de vegetación o por la erosión natural de los suelos; sin embargo, hoy en día la mayoría de nutrientes que llegan a cuerpos de agua provienen de actividades antrópicas como actividades agrícolas o fuentes industriales, estos aportes excesivos pueden reducir la calidad de agua para uso humano y desencadenar muchos cambios adversos en el ambiente acuático (Klapproth & Johnson, 2009), principalmente la eutrofización, que es el fenómeno que provoca un crecimiento exagerado de plantas acuáticas de vida corta, y cuya descomposición consume el oxígeno disuelto del agua, limitando la existencia de otros seres vivos (Granados et al., 2006).

Los nutrimentos pueden entrar en los cuerpos de agua ya sea a través de flujo subsuperficial o en forma de esorrentía, el nitrógeno, por ejemplo, comúnmente se transporta como nitrógeno disuelto mediante flujo subsuperficial (Klapproth & Johnson, 2009), mientras que el fósforo (alrededor del 85%) por lo general se encuentra adherida a pequeñas partículas de suelo (Granados et al., 2006).

El fosforo y el nitrógeno son los más estudiados en lo referente a calidad de agua, debido a que son los responsables del grave problema de eutrofización,

por lo que se revisará la dinámica de los bosques de ribera con estos dos nutrientes.

Nitrógeno

En el caso del nitrógeno, su remoción se puede dar por tres mecanismos principales (Magdaleno, 2013):

- **Por asimilación y retención de la biota:** En este mecanismo la remoción de nitrógeno (asimilable en forma de nitrato) lo hace mayormente la vegetación, ya que lo utiliza en su etapa de crecimiento para la producción de raíces, hojas y tallos (Klapproth & Johnson, 2009). Es preferible el uso de vegetación perenne debido a que una vez que la vegetación muere, esta se descompone y el nitrógeno vuelve al suelo (Bentrup, 2008), además, se complementa con el proceso de desnitrificación ya que el periodo de crecimiento de las plantas se da cuando existe una disminución en los niveles freáticos, circunstancia en la que la desnitrificación no tiene lugar (B.-M. Vought et al., 1995). La acción microbiana también es capaz de retener parte del N, al inmovilizarlo y retenerlo en los suelos en forma de nitrógeno orgánico (Mander et al., 1997).
- **Por desnitrificación:** Este es un proceso que se da cuando existen condiciones anaerobias, es decir cuando la humedad del suelo es alta (Granados et al., 2006). La desnitrificación es el principal mecanismo de remoción de nitrógeno en los bosques de ribera, este es un proceso en donde el nitrógeno en forma de nitratos, se convierte por acción de bacterias desnitrificantes, en gases como el óxido de nitrógeno (N_2O) y nitrógeno gaseoso (N_2) y son liberados a la atmosfera, razón por la cual se considera como un método permanente de remoción de nitrógeno desde los ambientes acuáticos o terrestres (Klapproth & Johnson, 2009).
- **Por mineralización:** Este proceso, a diferencia del anterior, se da en suelos bien oxigenados, aquí el bosque da lugar a procesos químicos y biológicos que permiten la transformación en la composición del nutrimento (Granados et al., 2006). El nitrógeno orgánico puede ser transformado en formas minerales (nitratos) mediante la acción de hongos y procesos microbiológicos como la nitrificación (B.-M. Vought et al., 1995), permitiendo así que el nitrógeno (ahora en forma de nitrato) sea asimilable para plantas y bacterias (Granados et al., 2006).

Fósforo

El fósforo se encuentra presente en forma orgánica y mineral (B.-M. Vought et al., 1995), y como se mencionó anteriormente, por lo general se encuentra ligada a partículas de suelo a través de escorrentía superficial, por lo que su principal sistema de remoción es mediante la deposición de P asociado con sedimentos (Klapproth & Johnson, 2009), pero es necesario que el fosforo se infiltre con la escorrentía para que sea adsorbido y atrapado por el suelo (Bentrup, 2008).

Por otro lado, la porción de P disuelta en el agua se infiltra en el suelo, y subsecuentemente es consumido por las plantas, diluido, o transformado (Polyakov et al., 2005). El fósforo no tiene una forma gaseosa, por lo que a diferencia el nitrógeno, existe un límite en el suelo y en la vegetación para retenerlo, una vez que estos límites son alcanzados el bosque ya no tendrá la capacidad de retener más P (B.-M. Vought et al., 1995).

2.2.2.3 Bosques de ribera en el control de patógenos.

Existe poca información disponible acerca de la capacidad de los bosques de ribera para reducir la contaminación provocada por patógenos como la *E. coli*, sin embargo se ha llegado a establecer mediante pruebas de laboratorio, que diferentes tipos de vegetación (incluido el pasto) tienen la capacidad de reducir los niveles de esta bacteria transportada por escorrentía (Klapproth & Johnson, 2009), pudiendo reducir más del 60 por ciento de ciertos patógenos (Grismer et al., 2006). Sin embargo los bosques de ribera por sí solos no suelen ser tan eficientes como para reducir estos patógenos a niveles admisibles en normas de calidad de agua, por lo que se recomienda combinar estas zonas de amortiguamiento con prácticas de gestión (Bentrup, 2008).

2.2.2.4 Bosques de ribera en el control de temperatura

Los bosques riparios reducen el calentamiento del agua producido por la radiación solar gracias a la sombra que estos producen, especialmente en ríos de bajo orden, es decir de poca anchura. Cualquier vegetación riparia provee de enfriamiento mediante la evapotranspiración del agua del suelo y de agua subterránea poco profunda. El agua ya enfriada fluye hacia los cuerpos de agua estabilizando así la temperatura. El proceso de evapotranspiración es más eficiente para enfriar el agua cuando existe vegetación arbórea, debido a que estos poseen una mayor área foliar y por ende tasas de evapotranspiración más altas (Haycock et al., 1997).

2.2.3 Factores de los que dependen los bosques de rivera

Los bosques de ribera tienen una interacción compleja con el recurso agua, por lo que la efectividad que logren alcanzar para ayudar a mejorar la calidad del agua, estará limitada por varios factores, como lo son: hidrología de la zona, la vegetación, características del suelo, pendiente, y ancho de los bosques de ribera (Grismer et al., 2006; Smyth et al., 2018).

- **Hidrología de la zona:** Este es un factor importante que afecta la calidad del agua, la hidrología de un lugar se ve influenciada por aspectos como la geología de la zona, su topografía y las características de la cuenca circundante en general. Estas características afectan el comportamiento del flujo de agua a lo largo de la cuenca. Las condiciones más favorables se dan cuando el flujo subsuperficial es poco profundo, ayudando así a que la mayor parte del drenaje de la cuenca pase a través del área ribereña (Klapproth & Johnson, 2009).
- **Vegetación:** La vegetación es la encargada de realizar el trabajo de retención y/o remoción de los contaminantes del agua mediante los procesos ya antes mencionados, entre algunas de las características más importantes que influyen su efectividad se encuentran: la densidad, el tipo de vegetación y la altura. La densidad de la vegetación influenciará en la resistencia que ejercerá al flujo del agua, favoreciendo al asentamiento de partículas. La altura por otro lado debe ser suficiente como para evitar que quede sumergida por el flujo superficial. Por último el tipo de vegetación también determinará la capacidad de la zona de amortiguamiento para ciertos contaminantes, por ejemplo, el pasto puede ser más eficaz para la retención de sedimentos, pero la vegetación leñosa es mejor para regular la temperatura mediante la sombra que produce (Vigiak et al., 2007). Es por esto que una mezcla entre especies herbáceas, arbustivas y leñosas es recomendada para obtener resultados más óptimos (Bentrup, 2008).
- **Suelo:** En las zonas ribereñas los suelos pueden llegar a ser muy variables, su capacidad para ayudar a mejorar la calidad del agua depende de propiedades como su permeabilidad, textura, química y contenido de materia orgánica. Todas estas características afectan la manera en la que el agua fluye a través del bosque de ribera, el tiempo de contacto que las aguas subterráneas tendrán con las raíces y con las mismas partículas del suelo, e incluso que tan anaeróbicos se vuelven dichos suelos. Los suelos más favorables son aquellos ricos en materia orgánica debido a su gran capacidad de infiltración y adsorción

de contaminantes además de proporcionar carbono para favorecer procesos microbianos (Klapproth & Johnson, 2009).

- **Pendiente:** La pendiente tiene un impacto importante en la capacidad de amortiguamiento de las zonas ribereñas, pendientes más pronunciadas permiten mayor transporte de contaminantes y reducen el tiempo de contacto con el bosque ripario, por lo que en estas circunstancias se requieren de bosques más anchos (Bentrup, 2008). Se ha llegado a determinar que las franjas de vegetación hacen un mejor trabajo en pendientes menores al 5%, mientras que no son recomendables en pendientes superiores al 15% (Grismer et al., 2006).
- **Ancho de bosque:** En general, los bosques de ribera más anchos son los más eficientes, una mayor anchura significa una mayor área para que el agua pueda ser depurada, así como también se traduce en mayor tiempo de residencia, incrementando así las posibilidades de que el bosque ripario pueda depurar más eficazmente el agua que lo atraviesa (Smyth et al., 2018)

2.3 Índice de calidad de agua

2.3.1 Aspectos generales

La manera en la que se valora la calidad del agua es mediante una evaluación de sus características físicas, químicas y biológicas en función de cuál va a ser su uso. Por lo tanto los índices de calidad de agua no son más que expresiones que combinan determinadas variables fisicoquímicas y biológicas, y cuyas valoraciones se pueden expresar ya sea por valores numéricos, símbolos o colores dentro de una tabla de clasificaciones ya establecida (Quintero et al., 2013). Estos índices suponen una gran ventaja a la hora de interpretar los datos debido a que son más simples que un listado de valores numéricos, y así se puede tener una idea más rápida y clara del estado del agua estudiada. (Valcarcel et al., 2010).

2.3.2 Índice de calidad de agua NSF (National Sanitation Foundation).

Fue creado en el año de 1970, y se desarrolló con la participación de 142 expertos en materia de calidad de agua, mediante la técnica de investigación Delphi, en la que básicamente se aplicó cuestionarios a todos los expertos, en los cuales se incluyeron varios analitos para que fueran analizados y calificados en función de la importancia que se le asignaba a cada uno, se evaluaron todas las repuestas y se seleccionaron las más importantes, y posteriormente se les asignaron pesos de importancia a cada una de las variables seleccionadas (Samboni et al., 2007).

Esta clasificación se concibió con el fin de determinar las características que deben tener las fuentes de captación destinadas para consumo humano (Castro et al., 2014). El ICA NSF está compuesto por 9 parámetros, los cuales se especifican en la **Tabla 1** con sus respectivos pesos de importancia.

Parámetro (Q_i)	Peso (W_i)
Oxígeno Disuelto	0,17
Coliformes Fecales	0,15
pH	0,12
DBO ₅	0,10
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Variación de temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos Totales	0,08

Tabla 1. Parámetros y pesos de importancia del ICA NSF.

Fuente: (Ichwana et al., 2016)

El ICA NSF adopta valores que van de 0 a 100 y que se clasifican de acuerdo al criterio que se muestra en la **Tabla 2**.

Rango	Criterio
0–25	Muy Malo
25,1–50	Malo
50,1–70	Moderado
70,1–90	Bueno
90,1–100	Muy Bueno

Tabla 2. Criterio de clasificación de calidad de agua (ICA NSF).

Fuente: (Ichwana et al., 2016)

2.3.2.1 Cálculo del ICA NSF.

Para la determinación de este índice de calidad de agua, primero se debe identificar cual es el valor Q_i que le corresponde a cada uno de los parámetros analizados en cada muestra, mediante las curvas de función que han sido establecidas por la NSF. En las siguientes gráficas (**Ilustración 2 a 10**) se presentan dichas curvas de función para cada parámetro.

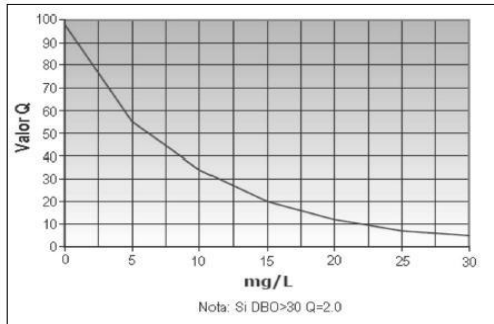


Ilustración 2. Curva de función para DBO5

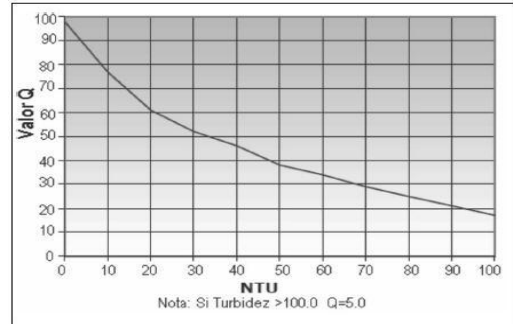


Ilustración 3. Curva de función turbidez.

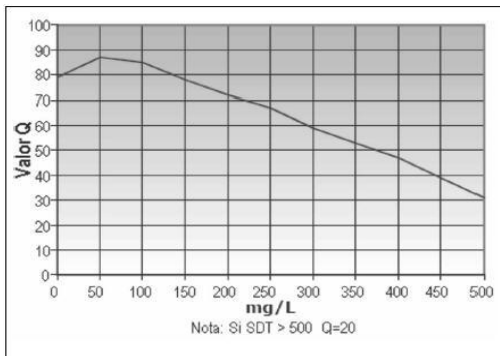


Ilustración 4. Curva de función Sólidos Totales..

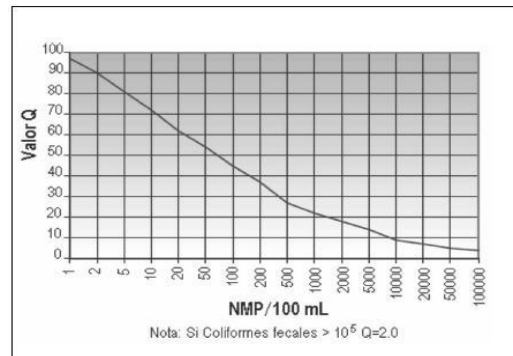


Ilustración 5. Curva de función para Coliformes.

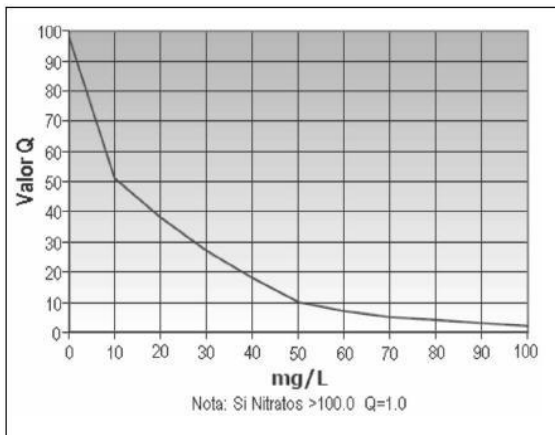


Ilustración 6. Curva de función para Nitratos.

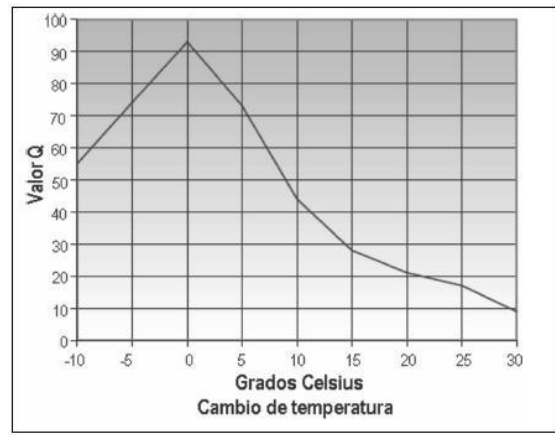


Ilustración 7. Curva de función Cambio de T°.

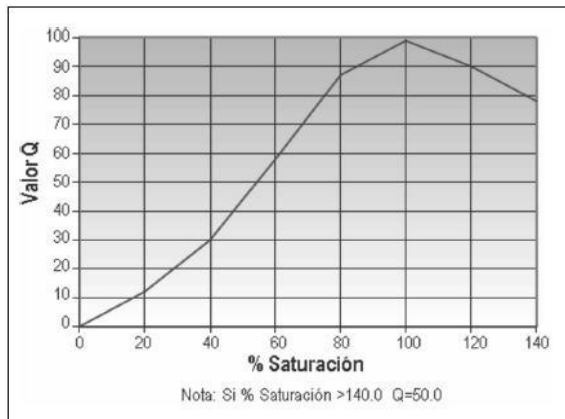


Ilustración 8. Curva de función % de saturación de Oxígeno.

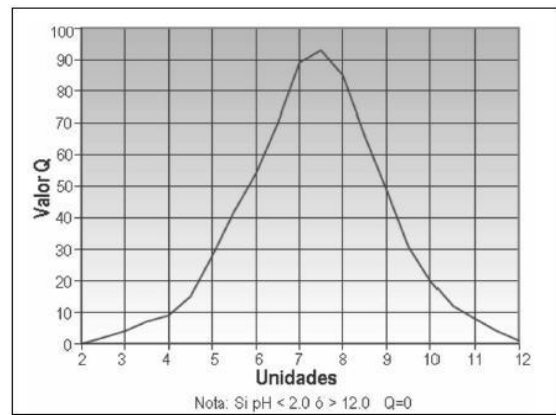


Ilustración 9. Curva de función para pH.

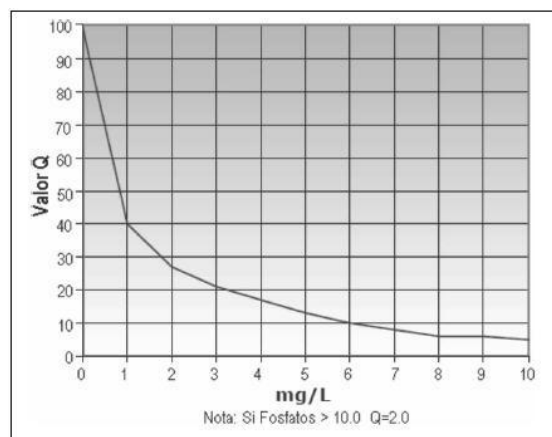


Ilustración 10. Curva de función para Fosfatos

Fuente: (Samboni et al., 2007)

Para el parámetro cambio de temperatura (**Ilustración 7**), se debe calcular la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra (Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2012).

En el caso del oxígeno disuelto, como se puede observar en la **Ilustración 8**, se debe realizar la medición en porcentaje de saturación de oxígeno, en lugar de unidades de concentración (Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2012).

Una vez determinados los valores en las curvas de función se procede a calcular los ICA; existen dos métodos que suelen aplicarse, mediante el promedio aritmético ponderado y el promedio geométrico ponderado, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$ICA(aritmético) = \sum_{i=1}^n (Q_i * W_i)$$

$$ICA(geométrico) = \prod_{i=1}^n (Q_i^{W_i})$$

Fuente: (Torres et al., 2009)

Donde:

Q_i : Es el valor asignado a cada parámetro de acuerdo a las curvas de función.

W_i : Pesos de importancia establecidos para cada parámetro.

El promedio aritmético ponderado suele ser ampliamente utilizado por lo que resulta más práctico en especial para realizar comparaciones con otros estudios, en cambio el promedio geométrico ponderado suele ser aplicado cuando existe una gran variabilidad entre las muestras analizadas (Torres et al., 2009).

Cuando se ha realizado el cálculo correspondiente, se compara los resultados con la **Tabla 2** para determinar la correspondiente clasificación de la muestra analizada.

2.4 Manejo de bosques de ribera en la cuenca del Tomebamba

Dentro de su afán por proteger las fuentes hídricas, ETAPA-EP ha estado llevando a cabo un proyecto de reforestación de las riberas del río Tomebamba para ayudar a mitigar los impactos de actividades antrópicas como ganadería y agricultura (principales fuentes de contaminación difusa), intentando así evitar una disminución en la calidad del agua que drena hasta el río Tomebamba.

Dicha reforestación se ha llevado a cabo a lo largo de la ribera del Tomebamba, en una extensión aproximada de 10Km, dentro de predios en los que se ha brindado apertura y utilizando especies propias de la zona, entre las cuales están: árbol de papel o también llamado quinua (*Polylepis Incana*, *Polylepis Racemosa*, *Polylepis Reticulata*), Sigsal (*Cortaderia jubata*), Chilca (*Baccharis latifolia*), Tugshi (*Gynoxys hallii*), Aliso (*Alnus acuminata*), Sarar (*Weinmannia fagaroides*), y Achupalla (*Puya clava-herculis*) (Ulloa et al, 2019; Minga & Verdugo, 2016).

En la **Ilustración 11** se puede apreciar los lugares en los que los bosques de ribera han sido ya implementados, cabe destacar que no todos los bosques tienen el mismo nivel de evolución ni tampoco tienen el mismo ancho.

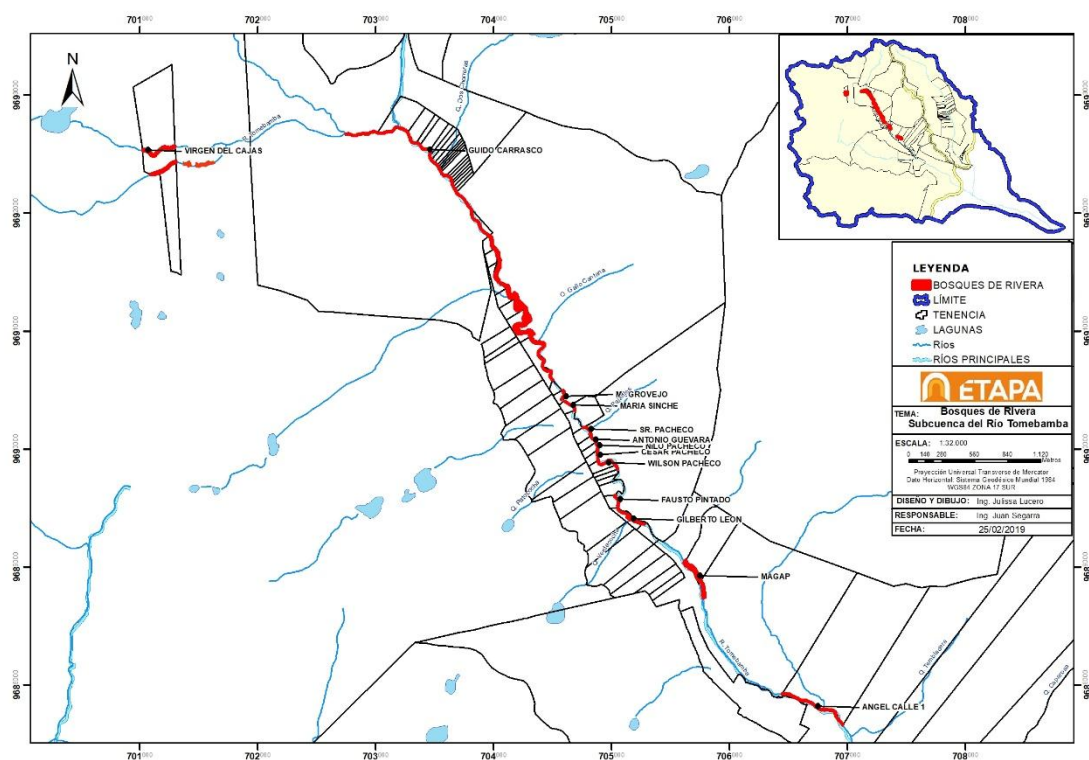


Ilustración 11. Mapa de ubicación de los bosques de ribera reforestados en la Subcuenca del Tomebamba.

Fuente: ETAPA EP.

2.5 Marco Legal

En la Constitución del Ecuador en el artículo 12 se establece que el agua es un derecho fundamental e irrenunciable para los ciudadanos, mientras que en el Artículo 411 se menciona que el estado garantizará la conservación, recuperación y manejo de los recursos hídricos y cuencas hidrográficas, y se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, en especial en fuentes de recarga hídrica (Tribunal Constitucional, 2008).

Por otro lado, existe una ordenanza de Control de la Subcuenca del Río Tomebamba Relativa a la Captación de Agua para la planta del Cebollar, en cuyo Artículo número 4 se establece que todos los propietarios de predios que colinden con ríos, embalses y demás cuerpos de agua deben respetar un margen de separación de 50m de cada lado, además de que se prohíbe cualquier actividad antrópica que pueda deteriorarlos (Pesántez, 2015).

3. METODOLOGÍA.

3.1 Identificación de puntos de muestreo.

Para determinar los puntos de muestreo, se realizó un recorrido a lo largo de la ribera del Tomebamba para observar los bosques reforestados y en proceso de reforestación, para así identificar puntos con pendientes y usos de suelo similares, con el fin de obtener resultados comparables entre los diferentes puntos, también se buscaron zonas en las que exista un drenaje constante de agua. Cabe destacar que también hubo que considerar que estas franjas de reforestación se encuentran dentro de predios privados por lo que la selección de los puntos se vió limitado por la apertura que los dueños brindaron para obtener acceso a los mismos

Se plantearon tres escenarios para identificar el efecto de los bosques de ribera sobre la calidad del agua:

- El primer escenario es una zona en el que aún no existe bosque de ribera (P1) (6m), para obtener valores referenciales.
- El segundo escenario es un punto en el que ya existe bosque de ribera con una anchura media con respecto a todos los bosques implementados (P2) (10m).
- El tercer escenario es un bosque de los de mayor anchura existente (P3) (15m).

Tomando en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas se establecieron tres puntos de muestreo, ubicados como se indica en la **Ilustración 12**.

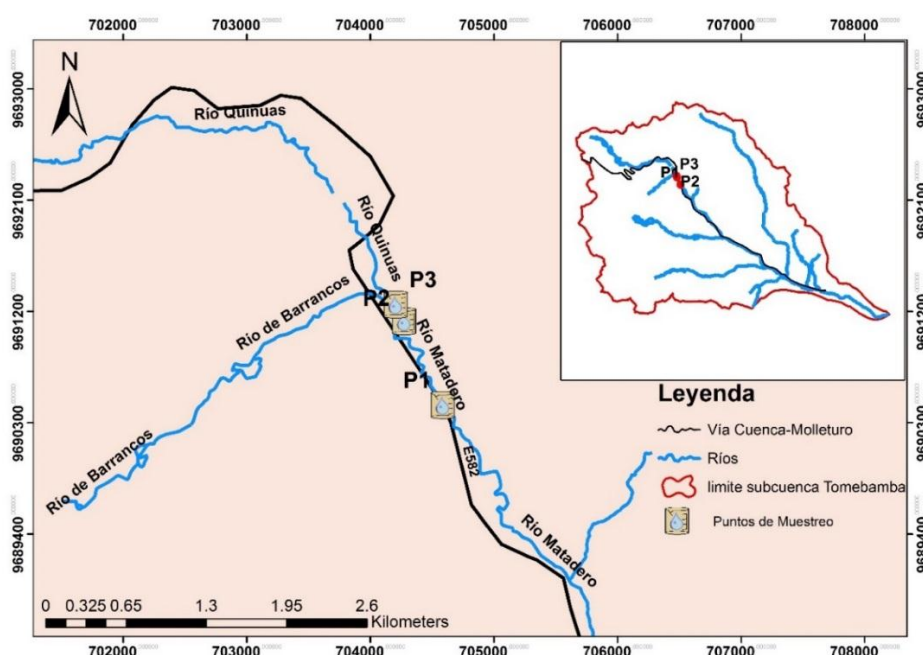


Ilustración 12. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.

Elaboración: Autor

En la **Tabla 3** se puede observar la codificación y las características de cada uno de los puntos de muestreo, los cuales se registraron mediante la utilización de un equipo GPS. Todos los puntos se ubican en zonas donde existe actividad ganadera, y se encuentran en terrenos con pendientes inferiores al 5%. Se consideró solamente la actividad ganadera ya que fue la práctica más común que se encontró junto a las riveras de los ríos, por lo menos durante la época en la que se realizó los recorridos de campo para la identificación de los puntos.

Codificación.	Ubicación (Coordenadas UTM)		Referencia	Ancho [m]	Especies vegetales
	x	y			
P1	704584,3	9690443	Vía Cuenca-Molleturo km 20	6	Ryegrass, Calamagrostis intermedia
P2	704271,6	9691119,9	Vía Cuenca-Molleturo km 21	10	Ryegrass, Polylepis, Calamagrostis intermedia, Puya clava-herculis, Loricaria thuyoides.
P3	704202,7	9691255,3	Vía Cuenca-Molleturo (sector restaurant "Reina del Cisne") km 21	15	Ryegrass, Polylepis, Calamagrostis intermedia, Puya clava-herculis, Cortaderia jubata, Loricaria thuyoides.

Tabla 3. Codificación, ubicación y características de los puntos de muestreo.

Elaboración: Autor.

3.2 Preparación de los puntos de muestreo.

Ya determinados los puntos de muestreo, se realizó la preparación de cada uno de los puntos, primero se procedió a realizar la medición del ancho de los bosques de ribera al igual que sus pendientes, mediante la utilización de un medidor láser de distancias. En cada uno de los puntos se excavaron dos pequeños pozos para la recolección del agua, uno justo antes de que el agua atravesara el bosque, y otro justo después; para codificarlos se agregó a la codificación ya establecida las letras A (antes del bosque) y B (después del bosque).



Ilustración 13. Excavación de los pozos P1A y P1B.

Fuente: Autor.

La excavación de pozos se fundamentó en la metodología aplicada por Sullivan et al. (2007), pero con adaptaciones de acuerdo a las características de los sitios y los requerimientos de este estudio, variando aspectos como la profundidad y adecuación de los pozos. En cada uno de los pozos se colocó un pedazo de plástico para impermeabilizar el fondo e intentar disminuir el flujo vertical del agua, y priorizar el flujo horizontal a través del bosque de ribera (flujo subsuperficial), adicional se colocó una bandeja plástica con una capacidad de 1,4L (considerando que se necesitaba un mínimo de 1L para los respectivos análisis de laboratorio) para asegurar la acumulación de agua para los análisis, además se cubrieron los agujeros con otro pedazo de plástico para disminuir alteraciones producidas por el ingreso directo de agua lluvia. Todos los pozos se excavaron con profundidades menores a 50cm, con la finalidad de mantenerlos por sobre el nivel del espejo de agua del río y evitar la infiltración del agua proveniente del mismo que puedan alterar los resultados, y contemplando mantener la mayor profundidad posible para recolectar agua de flujo subsuperficial además del agua de escorrentía.



Ilustración 14. Impermeabilización del fondo del pozo.

Fuente: Autor.



Ilustración 15. Colocación de la bandeja para acumular agua.

Fuente: Autor.



Ilustración 16. Cubrimiento del pozo para evitar el ingreso directo de lluvia.

Fuente: Autor.

3.3 Etapa de muestreo y análisis.

3.3.1 Campañas para la toma de muestras.

Se estableció un total de tres muestreos mensuales durante un lapso de tiempo de casi dos meses comprendidos entre junio, julio y primeros días de agosto, con la finalidad de realizarlo antes de alcanzar la temporada más seca, para así asegurar la presencia de agua que drene desde el terreno circundante hacia los puntos de muestreo.

Muestreo	Fecha
1	13 de junio de 2019
2	15 de Julio de 2019
3	2 de agosto de 2019

Tabla 4. Fechas de muestreo.

Elaboración: Autor

Los meses de muestreo se establecieron mediante revisión bibliográfica referente a condiciones hidrometeorológicas de la zona en años previos (Belesaca & Peláez, 2018) (Pesántez, 2015; Condo & Juela, 2017), y se corroboraron con datos de precipitación de los años 2018 y 2019 de las estaciones Patoquinuas y Matadero, que fueron cedidos por ETAPA EP y cuya información se expone en la **Tabla 5**, llegándose a establecer que los meses más secos por lo general resultan ser julio, agosto y septiembre, siendo Agosto el mes más seco de todos. Se puede observar que en los datos disponibles del 2019 las precipitaciones van disminuyendo durante los meses de muestreo, convirtiéndose en meses de transición.

		ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	Ago	sep	oct	Nov	dic
2018	Patoquinuas	110,90					45,10	37,10	31,80	43,00			43,00
	Matadero	76,20	65,50	79,80	118,40	169,90	42,70	20,50	25,60	36,70	69,40	147,80	6,50
2019	Patoquinuas	92,40			82,30	78,80	67,10	58,70	29,60				
	Matadero	58,70	78,60	127,80	89,10	63,10							

= Datos incompletos o erróneos

Tabla 5. Datos de precipitación mensual [mm] 2018–2019 de las estaciones Patoquinuas y Matadero.

Fuente: ETAPA EP.

Cabe destacar que durante los meses de junio y Julio se procuró realizar los muestreos en días próximos a eventos lluviosos, en el caso de agosto por otro lado el

muestreo se realizó al comenzar el mes mientras aún existía humedad contenida en el suelo, si bien la cantidad de agua contenida en los pozos durante este último muestreo era inferior a la de los muestreos previos, fue suficiente para la toma del volumen de muestra requerido.

3.3.2 Toma y análisis de muestras.

Para la toma de muestras se siguieron los lineamientos establecidos por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, específicamente las normas NTE INEN 2176:2013 referente a Técnicas de Muestreo y NTE INEN 2169:2013 sobre Manejo y Conservación de Muestras.

Se utilizaron un total de 6 botellas plásticas (PET) con una capacidad de un litro cada una (una por cada pozo de muestreo), las cuales previo a la respectiva toma de muestra, fueron debidamente lavadas con agua destilada y homogeneizadas con agua del lugar, para posteriormente ser rotuladas. Al momento de la toma de las muestras se procuró llenar completamente las botellas para así evitar espacios con aire que puedan alterar los parámetros hasta llegar al laboratorio de análisis de aguas.

Parámetros como oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos, temperatura ambiente y del agua fueron medidos en el sitio de muestreo, mientras que los demás parámetros (fosfatos, nitratos, turbiedad, sólidos suspendidos, DBO_5 y coliformes) se midieron en el laboratorio.



Ilustración 17. Medición de parámetros in-situ mediante el equipo multiparámetro.

Fuente: Autor.



Ilustración 18. Medición de niveles de turbiedad.

Fuente: Autor.

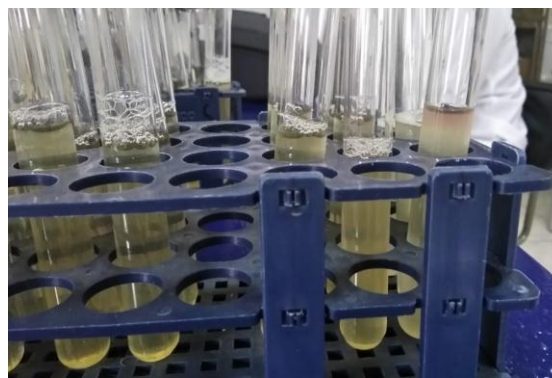


Ilustración 19. Estimación de Coliformes totales y fecales.

Fuente: Autor



Ilustración 20. Medición de sólidos suspendidos.

Fuente: Autor.

Para el transporte de las muestras se utilizó un cooler, debido a que el tiempo entre la toma de la primera muestra y la llegada hasta el laboratorio era alrededor de 2 horas.

3.3.3 Equipos.

Para llevar a cabo el proceso de muestreo y análisis durante este proyecto, se utilizaron una serie de equipos, los cuales fueron solicitados al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas, así como al Laboratorio de Calidad de Aguas del Campus Balzay, todos ellos se especifican en la **Tabla 6**. Los análisis de los parámetros que no pudieron ser estimados directamente en los sitios fueron transportados y realizados en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Campus Balzay.

Equipos/ Ensayos	Parámetro	Sitio de Medición	Imagen
Medidor multiparámetro de calidad de agua Sper Scientific 850081	pH	in-situ	
	Oxígeno Disuelto (% de Saturación)		
	Sólidos Disueltos [mg/L]		
	Temperatura del Agua [°C]		
Medidor láser MILESEEEY S7	Distancia [m]	in-situ	
	Pendiente [%]		
Termómetro de Mercurio	Temperatura Ambiente [°C]	in-situ	
GPS Garmin 72H	Georreferenciación puntos de muestreo	in-situ	
Turbidímetro	Turbiedad [NTU]	Laboratorio	





Filtración al vacío y método gravimétrico	Sólidos Suspendidos [mg/L]	Laboratorio	
Espectrofotometría	Nitratos (NO ₃ ⁻) [mg/L]	Laboratorio	
	Fosfatos (PO ₄ ³⁻) [mg/L]		
Ensayo DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno tras 5 días [mg/L]	Laboratorio	
Método Número Más Probable (NMP)	Coliformes Fecales [NMP/100ml]	Laboratorio	

Tabla 6. Equipos y ensayos usados durante el monitoreo.

Elaboración: Autor

3.4 Determinación del ICA NSF.

Una vez obtenidos los resultados de los análisis físico-químicos del agua, se procedió a realizar el cálculo de Índice de Calidad de Agua, primero se determinó cual era la calificación que le corresponde a cada uno de los parámetros analizados, para ello se utilizó la calculadora en línea disponible en la plataforma de Water Research Center, en la cual se ingresó los resultados de los análisis de cada parámetro para obtener sus valores correspondientes en base a las gráficas establecidas por la National Sanitation Foundation y que se indicaron en el apartado **2.3.2.1 Cálculo del ICA NSF**.

Después de obtener los valores de los parámetros, se utilizó Excel para determinar cuál es el valor del índice de Calidad de Agua en cada punto, si bien es cierto que la

propia calculadora en línea también presenta este resultado, solo lo hace mediante la ecuación aritmética, mientras que en el estudio se contempló utilizar tanto aritmética como geométrica para compararlas, razón por la cual se optó por utilizar el software de Microsoft Excel.

3.5 Determinación de capacidad de bosques ribereños en la regulación de parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Para identificar la capacidad o el efecto de los bosques de ribera se realizó la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) considerando un nivel de significancia del 5 por ciento ($p\text{-value} < 0.005$). Para esta prueba se utilizó como datos los resultados de efectividad de cada uno de los bosques, que se obtienen mediante la ecuación:

$$E(x) = \left[\frac{Q_i(x) - Q_i(0)}{Q_i(0)} \right] \times 100$$

Fuente: (Olilo et al., 2016)

Donde:

$E(x)$: Es la efectividad del bosque de ancho x .

$Q_i(x)$: Es el valor del subíndice de cada parámetro a la salida de cada bosque (a una distancia x).

$Q_i(0)$: Es el valor del subíndice de cada parámetro a la entrada de cada bosque.

También se aplicó el cálculo de los intervalos de confianza como una medida para definir el grado de precisión de la prueba estadística de ANOVA, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$IC = \mu \pm \frac{z * \sigma}{\sqrt{n}}$$

Fuente: (Molina Arias, 2013)

Donde:

IC= Intervalo de confianza

μ = Media o promedio de cada grupo de datos.

z = Es la puntuación estándar o puntuación normal, y cuyo valor es de 1,96 para una significancia del 5% (valor $p < 0,05$).

σ = Desviación estándar de cada grupo de datos.

n = Número de datos.

Esta metodología se utilizó en base a lo aplicado en el estudio realizado por Olilo et al. (2016).

De igual manera para corroborar los resultados de la prueba estadística se aplicó los denominados diagramas de cajas (Box Plot) con la finalidad de representar gráficamente y de manera agrupada los resultados.

3.6 Comparativa de los ICAs aritmético y geométrico.

Con el objetivo de observar las diferencias entre los resultados obtenidos con estas dos ecuaciones, se realizó una comparación entre los ICAs obtenidos, identificando cual ecuación genera resultados superiores, adicionalmente se hizo un cálculo para determinar la diferencia porcentual de los ICAs obtenidos entre los resultados de la ecuación aritmética con respecto a los valores del ICA producto del uso de la ecuación geométrica; aplicándolo a cada uno de los sitios de estudio durante los tres muestreos realizados, e identificando en que escenarios se daban las mayores variaciones.

3.7 Influencia del ancho de bosque de ribera en la calidad del agua.

Para determinar la influencia del ancho de bosque de ribera, se calculó la efectividad de los bosques considerando los resultados de los ICAs obtenidos antes de entrar al bosque de ribera y después de salir de él, aplicando la misma ecuación de efectividad que se utilizó en la prueba de ANOVA reemplazando los subíndices $Q_i(0)$ y $Q_i(x)$ por $ICA(0)$ e $ICA(x)$ (antes y después del bosque respectivamente). Posteriormente se procedió a establecer la correlación tanto gráfica como cuantitativamente entre dichos resultados y sus correspondientes anchos de bosque de ribera. Para ello se volvió a recurrir al software Microsoft Excel, en el cual se tabuló y graficó cada uno de los resultados para así poder determinar su correlación mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Todo esto se aplicó a los resultados obtenidos con las ecuaciones aritméticas y las geométricas.

Adicionalmente se procedió de igual manera con cada uno de los subíndices Q_i de cada parámetro, calculando la diferencia porcentual de los resultados a la entrada y a la salida de cada sitio de muestreo, pero en este caso solo se analizó su comportamiento gráficamente para saber si todos los parámetros se comportan igual que los resultados de los ICAs mencionados anteriormente.

4. RESULTADOS.

4.1 Resultados de los análisis Físico-Químicos y Microbiológicos.

En las **Tablas 7 a 9** se presentan los resultados de los tres meses de muestreo, con el paso del tiempo desde el primer muestreo hasta llegar al tercero, se observa que existe una reducción del oxígeno disuelto en los meses comprendidos entre junio y agosto posiblemente por el tiempo que el agua permanece encharcada en los pozos de muestreo, ya que la incorporación de oxígeno en el agua depende fundamentalmente de dos procesos: la entrada de oxígeno atmosférico (principalmente por turbulencia en el cuerpo de agua) y la generación de oxígeno por actividad fotosintética, siendo el primer proceso el que mayor aporte genera (Arroyo et al., 2012). Es por esto que además de no incorporarse suficiente oxígeno por el lento flujo del agua, se le debe sumar el consumo de oxígeno por los procesos microbiológicos que con el paso del tiempo siguen reduciendo los niveles de oxígeno disuelto en el agua.

Valores de pH se van estabilizando con el paso del tiempo, obteniendo valores más ácidos en el primer muestreo y más neutros al avanzar hasta llegar al último muestreo.

En todos los puntos de muestreo durante los tres meses no se encontraron coliformes fecales, ni inclusive en las muestras tomadas previo a que el agua ingrese a los bosques de ribera, a pesar de que el suelo circundante era utilizado como pastizales para el pastoreo de ganado vacuno. Esto resulta bastante satisfactorio ya que este es uno de los contaminantes más importantes a la hora de valorar el agua para consumo humano debido a los riesgos para la salud que este representa (NC Department Of Health and Human Services, 2009).

Todos los demás resultados se mostraron relativamente similares y con valores bajos. A lo largo de todo el muestreo los sólidos totales se mantuvieron dentro de un rango constante que van desde los 192 mg/l hasta los 243 mg/l, sin una diferenciación clara entre los puntos con y sin bosque de ribera.

4.1.1 Resultados del primer muestreo.

Si analizamos la **Tabla 7**, podemos observar principalmente el alto valor de coliformes totales en el punto P1A en comparación con los resultados con los demás puntos y fechas de muestreo, que alcanzó una concentración de 200NMP/100ml. Existe la posibilidad de que estas hayan estado contenidas en el suelo y sido liberadas durante

el proceso de excavación del pozo, ya que este tipo de coliformes se encuentran comúnmente en el medio ambiente proveniente por ejemplo del suelo y plantas (NC Department Of Health and Human Services, 2009).

Además, es interesante observar que el valor de DBO_5 en este mismo punto también es el más alto durante todo el muestreo, alcanzando los 11,45 mg O_2/l , y pudiendo estar relacionado con la concentración de coliformes totales consideradas anteriormente, ya que la demanda bioquímica de oxígeno se relaciona con la presencia de microorganismos que utilizan el oxígeno para degradar materia orgánica (Osorio & Peña, 2002).

En el caso del pH todos los puntos presentan valores de pH ácido, y con valores más bajos que en los muestreos posteriores, siendo el valor más alto de 5,23 en el punto P1B mientras que el valor más bajo registrado fue de 3,98 en el punto P3A. Esto podría verse influenciado por los suelos de los puntos de muestreo que se caracterizan por ser ricos en materia orgánica y por ende de naturaleza ácida (Podwojewski & Poulenard, 2000), y también al igual que en el caso de las coliformes pudo verse afectado por la presencia de suelo recién removido por la excavación de los pozos.

La variación de temperatura en este muestreo tiene los valores más altos en los puntos P1A y P1B con valores de 5,4 y 3,6 °C respectivamente, estos puntos se encuentran en la zona de muestreo sin bosque de ribera, por lo que en este caso se puede evidenciar una mayor diferencia de temperatura al existir menor cobertura vegetal.

Durante este muestreo también se registró la concentración de nitratos más altos durante los tres meses de estudio, pero sin llegar a ser preocupante, alcanzando los 3,6 mg/l en el punto P3A, pero cuyos niveles disminuyeron notoriamente en la muestra tomada a la salida del bosque de ribera de este punto de muestreo (P3B).

	P1=6m (Sin bosque)		P2=10m		P3=15m		Unidad
	P1A	P1B	P2A	P2B	P3A	P3B	
OD	79,46	78,36	77,00	79,67	61,97	80,23	% de saturación
Coliformes Totales	200	15	0	0	23	0	NMP/100ml
Coliformes Fecales	0	0	0	0	0	0	NMP/100ml
pH	5	5,23	4,12	4,24	3,98	4,13	
DBO5	11,45	1,81	7,23	1,81	0,60	3,01	mg O ₂ /l
ΔT°	5,4	3,6	0,2	1,2	0,1	0,9	°C
Fosfatos	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,39	mg/l
Nitratos	0,4	0,7	0,7	0,6	3,6	0,5	mg/l
Turbiedad	0,82	2,89	6,53	6,84	6,05	10	NTU
Solidos totales	219,17	215,31	215,19	219,81	239,01	239,64	mg/l

Tabla 7. Resultados obtenidos durante el primer muestreo.

Elaboración: Autor

4.1.2 Resultados del segundo muestreo.

En la **Tabla 8** correspondiente al segundo muestreo en primer lugar podemos observar la concentración que alcanzan los fosfatos llegando a 2,26 mg/l en el punto P2A, siendo la más alta de todos los muestreos realizados, pero que como sucedió con los nitratos en el muestreo anterior, al tomar la muestra a la salida del bosque de ribera, su concentración vuelve a disminuir.

Por otro lado, la DBO₅ es considerablemente más alta en el punto P3A en comparación con los demás puntos, con 10,05 mg O₂/l; y nuevamente como en el muestreo anterior también coincide con la medida más alta de coliformes durante este muestreo que alcanzó 23 NMP/100ml.

	P1=6m (Sin bosque)		P2=10m		P3=15m		Unidad
	P1A	P1B	P2A	P2B	P3A	P3B	
OD	63,1	80,2	69,2	54,4	79,8	45,8	% de saturación
Coliformes Totales	9	8	0	9	23	4	NMP/100ml
Coliformes Fecales	0	0	0	0	0	0	NMP/100ml
pH	6,6	6,3	5,6	6	6,28	6	
DBO5	2,82	0,41	0,41	5,83	10,05	5,83	mg O ₂ /l
ΔT°	2	1	2,2	0,2	1,7	1,2	°C
Fosfatos	0,15	0,31	2,26	0,07	0,02	0,49	mg/l
Nitratos	0,5	0,1	0,3	1,3	0,4	0,7	mg/l
Turbiedad	1,41	2,52	2,42	4,17	5,31	2,89	NTU
Solidos totales	225,61	235,05	211,51	192,73	234,03	197,48	mg/l

Tabla 8. Resultados obtenidos durante el segundo muestreo.

Elaboración: Autor

4.1.3 Resultados del tercer muestreo.

En los resultados del tercer y último muestreo que se ven representados en la **Tabla 9** se pueden observar valores bastante normales en base a los resultados de los dos muestreos previos, en este caso el único parámetro que presenta valores que llaman la atención es el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto que son considerablemente menores que los valores observados en meses anteriores. En este último muestreo se registró el valor más bajo de oxígeno disuelto con un valor de 24,4% de saturación de oxígeno en el punto P3B, y siendo el valor más alto de 56% de saturación en el punto P1A. Esto podría deberse al tiempo que el agua permaneció prácticamente estancada en los pozos de muestreo, su lento flujo no favoreció a la aireación del agua, reduciendo la cantidad de oxígeno con el paso del tiempo.

Al igual que en el segundo muestreo se vuelve a repetir una alta DBO₅ en el punto P3A, al menos la más alta de durante este muestreo con 8,3 mg O₂/l lo que supondría una alta actividad microbiológica en este punto.

	P1=6m (Sin bosque)		P2=10m		P3=15m		Unidad
	P1A	P1B	P2A	P2B	P3A	P3B	
OD	56	54	46,7	31,3	54,1	24,4	% de saturación
Coliformes Totales	0	0	0	0	9	23	NMP/100ml
Coliformes Fecales	0	0	0	0	0	0	NMP/100ml
pH	6,6	7	6,2	6,4	6,73	6,5	
DBO₅	3,25	1,2	4,31	4,9	8,3	3,7	mg O ₂ /l
ΔTº	1,9	1	0,3	2,3	0,4	2	ºC
Fosfatos	0,05	0,1	0,06	0,03	0,01	0,1	mg/l
Nitratos	1	0,9	0,7	0,7	0,3	0,2	mg/l
Turbiedad	3,1	13,2	4,7	5,7	7,9	5	NTU
Sólidos totales	221,60	243,10	192,55	217,83	233,37	238,05	mg/l

Tabla 9. Resultados obtenidos durante el tercer muestreo.

Elaboración: Autor

4.2 Resultados del Índice de Calidad de Agua.

4.2.1 Resultados de cálculo del ICA con ecuación aritmética.

Los resultados obtenidos durante el primer muestreo aplicando la ecuación aritmética y expresados en la **Tabla 10** clasifican como “BUENA” la calidad de agua en todos los puntos de muestreo, en este caso la calificación más alta es de 83,10 cuya muestra se tomó en el punto P1B (zona sin bosque de ribera), y el valor más bajo fue 75,83 correspondiente al punto P3B (con el bosque de ribera más ancho).

En este caso el parámetro que más afectó a la calidad del agua fué el pH, que como se puede ver tienen índices muy bajos, alcanzando valores de apenas 9 para el índice Qi en el punto P3A y alcanzando un valor máximo de 34 en el punto P1B, influenciando así en una calificación global menor en todos los puntos.

Otro parámetro que afectó la valoración del ICA en este muestreo fue el DBO₅, específicamente en el punto P1A ya que apenas alcanzó el valor de 29.

	peso (Wi)	Ancho= 6m				Ancho= 10m				Ancho=15m			
		P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
		Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético
Oxígeno Disuelto	0,17	86	76,14 (BUENA)	85	83,10 (BUENA)	84	76,64 (BUENA)	87	81,21 (BUENA)	60	76,37 (BUENA)	87	75,83 (BUENA)
Coliformes Fecales	0,16	100		100		100		100		100		100	
pH	0,11	27		34		10		12		9		10	
DBO ₅	0,11	29		84		45		84		97		67	
Cambio de Temperatura	0,1	71		79		92		88		93		89	
Fosfatos	0,1	99		100		99		100		100		72	
Nitratos	0,1	97		96		96		96		78		97	
Turbiedad	0,08	97		90		83		82		84		76	
Sólidos Totales	0,07	70		71		71		70		67		67	

Tabla 10. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación aritmética (Primer Muestreo).

Elaboración: Autor.

Nuevamente en el segundo muestreo de acuerdo a la metodología de valoración establecida por la NSF todos los puntos reflejan una calidad de agua “BUENA” como se pueden ver en los resultados de la **Tabla 11**, con un valor máximo de 87,25 en el punto P2A situado en la zona sin bosque de ribera como en el muestreo anterior, y un mínimo de 70,93 en el punto P3B a la salida del bosque de ribera, este segundo resultado se vio influenciado principalmente por el bajo valor Qi que obtuvo el parámetro de oxígeno disuelto.

Los valores de pH si bien aún son bajos, suben con respecto a resultados del mes anterior, por otro lado, la DBO₅ también afecta el valor final del ICA en especial en el punto P3A que

apenas alcanza una calificación de 34, aunque este parámetro no tiene tanto peso en la valoración final como los dos parámetros mencionados anteriormente.

	peso (Wi)	Ancho= 6m				Ancho= 10m				Ancho=15m			
		P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
		Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético
Oxígeno Disuelto	0,17	62	82,30 (BUENA)	87	87,25 (BUENA)	74	77,13 (BUENA)	50	76,81 (BUENA)	87	81,22 (BUENA)	38	70,93 (BUENA)
Coliformes Fecales	0,16	100		100		100		100		100		100	
pH	0,11	75		64		44		55		63		55	
DBO ₅	0,11	68		98		98		51		34		51	
Cambio de Temperatura	0,1	85		89		84		92		86		88	
Fosfatos	0,1	94		80		25		97		99		61	
Nitratos	0,1	97		97		97		96		97		96	
Turbiedad	0,08	95		91		92		88		85		90	
Sólidos Totales	0,07	69		68		71		73		68		73	

Tabla 11. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación aritmética (Segundo Muestreo).

Elaboración: Autor.

En la **Tabla 12** se puede observar un comportamiento similar, valores bajos en el oxígeno disuelto que de nuevo es el principal influyente en la disminución de los ICA, en este caso con un mínimo de 15 en el punto P3B. Igualmente el pH y DBO₅ también presentan valores más bajos que los demás parámetros. Resulta especialmente interesante el DBO₅ cuyos valores curiosamente son menores en las zonas con bosque de ribera.

A pesar de esos bajos valores en los parámetros antes mencionados, los resultados del ICA otra vez reflejaron una “BUENA” calidad de agua en todos los puntos de muestreo, con un máximo de 82,63 en el punto P2B, y un mínimo de 72,64 en el punto P2B.

Se puede ver claramente como durante los 3 muestreos los valores del ICA son mayores en los puntos P1A y P1B, es decir en la zona sin bosque de ribera, probablemente por el hecho de que la zona de pastoreo en este punto era menor en comparación con los otros dos sitios estudiados, debido a que este sitio de muestreo se ubicaba del otro lado de la ribera que da a la vía Cuenca-Molleturo y que corta la recepción del agua que drena desde los puntos más altos de esta zona.

	peso (Wi)	Ancho= 6m				Ancho= 10m				Ancho=15m			
		P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
		Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético	Qi	ICA Aritmético
Oxígeno Disuelto	0,17	52	80,35 (BUENA)	49	82,63 (BUENA)	39	76,39 (BUENA)	20	72,64 (BUENA)	49	77,60 (BUENA)	15	72,84 (BUENA)
Coliformes Fecales	0,16	100		100		100		100		100		100	
pH	0,11	75		88		60		68		80		72	
DBO ₅	0,11	66		93		59		56		41		63	
Cambio de Temperatura	0,1	85		89		92		84		91		85	
Fosfatos	0,1	98		96		98		99		100		96	
Nitratos	0,1	96		96		96		96		97		97	
Turbiedad	0,08	90		70		87		85		80		86	
Sólidos Totales	0,07	70		67		73		70		68		68	

Tabla 12. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación aritmética (Tercer Muestreo).

Elaboración: Autor.

4.2.2 Resultados de cálculo del ICA con ecuación geométrica.

Al aplicar la ecuación geométrica (ver **Tabla 13**), 4 de las 6 muestras tomadas durante el primer mes entraron de la categoría de calidad “MEDIA”, presentando un valor mínimo de 65,11 en el punto P3A, es decir los resultados no quedaron muy por debajo del valor mínimo para entrar en la categoría de calidad “BUENA” en especial el punto P1A que obtuvo un índice de 68,97. La clasificación de “BUENA” calidad de agua si alcanzaron los puntos P1B con 79,81, siendo el valor máximo alcanzado en este muestreo; y el punto P2B con 71,62, casi en el umbral de esta categoría.

	peso (Wi)	Ancho= 6m				Ancho= 10m				Ancho=15m			
		P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
		Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico
Oxígeno Disuelto	0,17	86	68,97 (MEDIA)	85	79,81 (BUENA)	84	65,50 (MEDIA)	87	71,62 (BUENA)	60	65,11 (MEDIA)	87	65,80 (MEDIA)
Coliformes Fecales	0,16	100		100		100		100		100		100	
pH	0,11	27		34		10		12		9		10	
DBO	0,11	29		84		45		84		97		67	
Cambio de Temperatura	0,1	71		79		92		88		93		89	
Fosfatos	0,1	99		100		99		100		100		72	
Nitratos	0,1	97		96		96		96		78		97	
Turbiedad	0,08	97		90		83		82		84		76	
Sólidos Totales	0,07	70		71		71		70		67		67	

Tabla 13. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación geométrica (Primer Muestreo).

Elaboración: Autor.

En la **Tabla 14** se puede ver los resultados durante el segundo mes de muestreo, que revelan valores más altos del índice de calidad de agua en comparación con los resultados del mes anterior. Durante este muestreo solo un punto se clasificó con un índice de calidad “MEDIA”, con un valor de 66,96 y que corresponde al punto P3B; punto en el que hubieron principalmente tres parámetros con índices bajos, que fueron pH, DBO₅ y principalmente oxígeno disuelto. Todas las demás muestras entraron en la categoría de “BUENA” calidad de agua; el valor más alto se situó en el punto P1A con una valoración de 86,37 que corresponde con el punto con índice de oxígeno disuelto más alto, además del punto P3A pero cuyo ICA solo alcanzó 77,7 debido al bajo índice del parámetro DBO₅ en este sitio.

	peso (Wi)	Ancho= 6m				Ancho= 10m				Ancho=15m			
		P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
		Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico
Oxígeno Disuelto	0,17	62	80,99 (BUENA)	87	86,37 (BUENA)	74	71,64 (BUENA)	50	73,68 (BUENA)	87	77,70 (BUENA)	38	66,96 (MEDIA)
Coliformes Fecales	0,16	100		100		100		100		100		100	
pH	0,11	75		64		44		55		63		55	
DBO	0,11	68		98		98		51		34		51	
Cambio de Temperatura	0,1	85		89		84		92		86		88	
Fosfatos	0,1	94		80		25		97		99		61	
Nitratos	0,1	97		97		97		96		97		96	
Turbiedad	0,08	95		91		92		88		85		90	
Sólidos Totales	0,07	69		68		71		73		68		73	

Tabla 14. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación geométrica (Segundo Muestreo).

Elaboración: Autor.

En la **Tabla 15** se reflejan los resultados del tercer y último muestreo, calculados con la ecuación geométrica. En general los resultados son inferiores en comparación con el segundo muestreo, pero superiores a los resultados del primero. Existieron dos puntos con calidad de agua (MEDIA), los puntos P2B y P3B con índices de 64,38 y 62,38 respectivamente, siendo este último el valor más bajo en el tercer muestreo. Se puede ver una clara influencia del parámetro de oxígeno disuelto en estos resultados, ya que sus valores más bajos se registraron en estos dos puntos.

	peso (Wi)	Ancho= 6m				Ancho= 10m				Ancho=15m			
		P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
		Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico	Qi	ICA Geométrico
Oxígeno Disuelto	0,17	52	78,33 (BUENA)	49	80,28 (BUENA)	39	72,48 (BUENA)	20	64,38 (MEDIA)	49	73,99 (BUENA)	15	62,38 (MEDIA)
Coliformes Fecales	0,16	100		100		100		100		100		100	
pH	0,11	75		88		60		68		80		72	
DBO	0,11	66		93		59		56		41		63	
Cambio de Temperatura	0,1	85		89		92		84		91		85	
Fosfatos	0,1	98		96		98		99		100		96	
Nitratos	0,1	96		96		96		96		97		97	
Turbiedad	0,08	90		70		87		85		80		86	
Sólidos Totales	0,07	70		67		73		70		68		68	

Tabla 15. Resultados del ICA-NSF mediante ecuación geométrica (Tercer Muestreo).

Elaboración: Autor.

4.2.3 Comparación de Resultados del ICA-NSF con ecuación aritmética vs geométrica.

La **Tabla 16** contiene todos los resultados del ICA obtenidos durante los tres meses de estudio y con las dos ecuaciones aplicadas. En primer lugar, podemos observar que en cada uno de los puntos de muestreo y durante todo el periodo de estudio, los resultados obtenidos aplicando la ecuación aritmética fueron siempre mayores que aquellos en los que se aplicó la geométrica.

En los resultados del primer muestreo se puede apreciar la mayor cantidad de puntos con un índice de calidad “MEDIA” (4 puntos), y que, como ya se revisó al analizar los resultados en los apartados anteriores, en este muestreo fué cuando el pH tuvo una influencia importante debido a los bajos valores que se registraron; que si bien dichos resultados aún permitieron que el ICA se clasifique como “BUENA” en todos los puntos al valorarla con la ecuación aritmética, no pasó lo mismo con la ecuación geométrica.

En el caso del segundo y tercer muestreo los resultados con el cálculo geométrico siguen siendo menores que el aritmético, pero solo existieron uno y dos puntos respectivamente que resultaron con un ICA “MEDIA”.

Tabla 16. Comparativa de resultados del ICA obtenidos con ecuación aritmética y geométrica.

Elaboración: Autor.

	Ancho= 6m				Ancho= 10m				Ancho=15m			
	P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
	ICA Aritmético	ICA Geométrico	ICA Aritmético	ICA Geométrico	ICA Aritmético	ICA Geométrico	ICA Aritmético	ICA Geométrico	ICA Aritmético	ICA Geométrico	ICA Aritmético	ICA Geométrico
Primer Muestreo	76,14	68,97	83,10	79,81	76,64	65,50	81,21	71,62	76,37	65,11	75,83	65,80
Segundo Muestreo	82,30	80,99	87,25	86,37	77,13	71,64	76,81	73,68	81,22	77,70	70,93	66,96
Tercer Muestreo	80,35	78,33	82,63	80,28	76,39	72,48	72,64	64,38	77,60	73,99	72,84	62,38

Para comprender mejor la diferencia de resultados, se presentan en la **Tabla 17** las variaciones entre las dos ecuaciones al aplicar una resta entre los ICA calculados con la ecuación aritmética menos los obtenidos con la ecuación geométrica y representarlos porcentualmente con respecto a los resultados de la ecuación geométrica. En esta tabla se puede apreciar claramente cuan sensible es la ecuación geométrica a variaciones extremas entre los índices de cada parámetro; por ejemplo, en el primer muestreo en los puntos P3A y P2A existen las diferencias más grandes entre los ICAs, con una variación del 17,30% y 17,00% respectivamente, correspondiendo a los puntos en los que el índice Q_i respectivo al pH alcanzó apenas valores de 9 y 10. En este muestreo podemos observar mejor como el hecho de que un parámetro tenga un menor peso dentro del cálculo, como el caso del pH cuyo peso (W_i) es menor que el del oxígeno disuelto, no impide que cause variaciones grandes en los resultados finales del ICA con la ecuación geométrica, aun cuando los valores del oxígeno disuelto se mantuvieron relativamente altos.

Estos resultados también contrastan al compararla con el segundo y tercer muestreo. En el segundo muestreo, la más alta variación se ubicó en el punto P2A, con una diferencia de 7,66%; donde ni los parámetros más importantes fueron los más bajos, sino que una caída brusca del índice de los fosfatos en comparación de los demás índices en este punto, en donde alcanzó solo una valoración de 25, fué suficiente para producir la mayor variación en este muestreo. En el resto de puntos las variaciones no fueron tan grandes durante este mes, al menos no tanto como en el primero.

Por último, durante el tercer muestreo fué en el punto P3B en donde hubo la mayor variación seguido por el punto de P2B, con diferencias de 16,77% y 12,82% respectivamente. En este caso el parámetro causante de estos resultados es el oxígeno disuelto con índices de 15 en el punto P3B y de 20 en el punto P2B; aún con estos índices tan bajos y siendo el parámetro que mayor peso tiene para el cálculo, no alcanzaron las variaciones que se dieron durante el primer muestreo.

		P1A		P1B		P2A		P2B		P3A		P3B	
		Qi	Δ ICA (Aritm-Geom)	Qi	Δ ICA (Aritm-Geom)	Qi	Δ ICA (Aritm-Geom)	Qi	Δ ICA (Aritm-Geom)	Qi	Δ ICA (Aritm-Geom)	Qi	Δ ICA (Aritm-Geom)
Primer Muestreo	OD	86	10.40%	85	4.12%	84	17.00%	87	13.39%	60	17.30%	87	15.24%
	Coliformes Fecales	100		100		100		100		100		100	
	pH	27		34		10		12		9		10	
	DBO	29		84		45		84		97		67	
	Δ T°	71		79		92		88		93		89	
	Fosfatos	99		100		99		100		100		72	
	Nitratos	97		96		96		96		78		97	
	Turbiedad	97		90		83		82		84		76	
	Sólidos Totales	70		71		71		70		67		67	
Segundo Muestreo	OD	62	1.62%	87	1.02%	74	7.66%	50	4.24%	87	4.53%	38	5.93%
	Coliformes Fecales	100		100		100		100		100		100	
	pH	75		64		44		55		63		55	
	DBO	68		98		98		51		34		51	
	Δ T°	85		89		84		92		86		88	
	Fosfatos	94		80		25		97		99		61	
	Nitratos	97		97		97		96		97		96	
	Turbiedad	95		91		92		88		85		90	
	Sólidos Totales	69		68		71		73		68		73	
Tercer Muestreo	OD	52	2.58%	49	2.93%	39	5.40%	20	12.82%	49	4.88%	15	16.77%
	Coliformes Fecales	100		100		100		100		100		100	
	pH	75		88		60		68		80		72	
	DBO	66		93		59		56		41		63	
	Δ T°	85		89		92		84		91		85	
	Fosfatos	98		96		98		99		100		96	
	Nitratos	96		96		96		96		97		97	
	Turbiedad	90		70		87		85		80		86	
	Sólidos Totales	70		67		73		70		68		68	

Tabla 17. Diferencia porcentual entre resultados del ICA (ecuación aritmética respecto geométrica).

Elaboración: Autor.

4.3 Resultados de la capacidad de bosques en la regulación de parámetros físico-químicos y biológicos.

4.3.1 Prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) e intervalos de confianza.

En la **Tabla 18** se presentan los resultados de la prueba estadística de ANOVA y de los intervalos de confianza aplicada a los resultados de todos los parámetros que conforman el ICA NSF, a excepción del parámetro de coliformes fecales debido a su inexistencia en todas las muestras.

En todos los casos los resultados del valor F calculado son menores a los del valor F tabulado y el valor p siempre resultó superior al límite establecido del 5% (valor $p > 0.05$). En base a los resultados obtenidos, la prueba nos indica que no existe una diferencia considerable entre los valores de los tres grupos de datos, es decir entre los tres sitios de muestreo, lo que nos indicaría que la capacidad de los bosques en la regulación de estos parámetros es la misma indistintamente de su anchura.

Por otro lado, los resultados de los intervalos de confianza presentan rangos bastante amplios, con valores de error estándar muy grandes, lo que quiere decir que probablemente la prueba estadística no está siendo precisa en cuanto a los resultados reflejados, probablemente debido a la pequeña cantidad de datos ya que solo existen tres valores para cada parámetro, correspondientes a cada uno de los tres muestreos realizados.

Parámetro	Intervalos de Confianza (IC) (media \pm error estándar de la media)			Valor F calculado	Valor F crítico	Valor P
	P1 (6m sin bosque)	P2 (10m)	P3 (15m)			
OD	11.13 \pm 28.73	-25.86 \pm 30.28	-26.90 \pm 70.85	0.800	5.143	0.492
pH	9.53 \pm 24.21	19.44 \pm 6.62	-3.86 \pm 14.75	1.860		0.235
DBO5	91.56 \pm 27.39	11.21 \pm 7.49	24.24 \pm 16.69	1.176		0.371
ΔT	6.89 \pm 4.29	-1.17 \pm 10.77	-2.86 \pm 5.24	1.934		0.225
Fosfatos	-5.31 \pm 9.55	96.68 \pm 187.49	-23.46 \pm 19.96	1.356		0.327
Nitratos	-0.34 \pm 0.67	-0.34 \pm 0.67	7.78 \pm 16.26	0.954		0.437
Turbiedad	-11.22 \pm 10.92	-2.62 \pm 1.81	1.29 \pm 10.63	2.002		0.216
ST	-1.44 \pm 3.23	-0.90 \pm 3.95	2.45 \pm 4.80	1.041		0.409

Tabla 18. Tabla de resultados de la prueba estadística de ANOVA y de los intervalos de confianza.

Elaboración: Autor.

4.3.2 Diagrama de cajas (Box plot) de los resultados de efectividad.

Después de que la prueba estadística no proporcionó resultados concluyentes en cuanto a la capacidad de los bosques en la regulación de los parámetros que fueron estudiados, se procedió a utilizar el método de naturaleza gráfica conocida como diagrama de cajas, en la cual se refleja los resultados de efectividad calculados para todos los parámetros en cada uno de los sitios de muestreo. Dichos diagramas se presentan en las **Ilustraciones 21 a 28**.

Para los parámetros de oxígeno disuelto (OD) y de variación de temperatura (ΔT) que se pueden observar en las **Ilustraciones 21 y 22** respectivamente, se aprecia una menor capacidad conforme el bosque se vuelve más ancho, con rangos de efectividad mucho menos variantes en el caso del ΔT , además, si bien los resultados de efectividad de este parámetro (es decir la relación de resultados de la salida con respecto a la entrada de los bosques) disminuyen a mayor ancho de bosque, los valores de los subíndices Q_i en términos generales eran mayores en los sitios con bosque. En el caso del OD se muestran resultados mucho más variables o dispersos en el punto P3 (bosque de 15m de ancho) mientras que en el caso del ΔT los resultados eran más variables en el punto P2 (bosque de 10m de ancho).

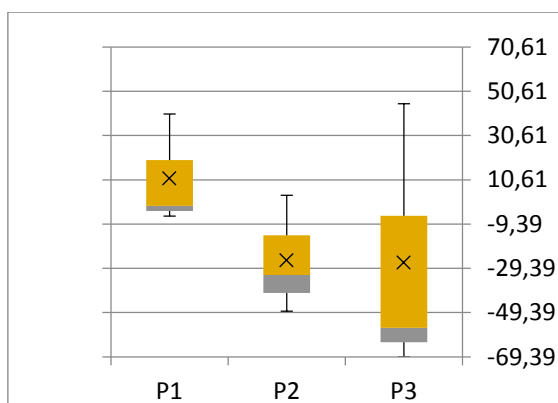


Ilustración 21. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para el OD durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

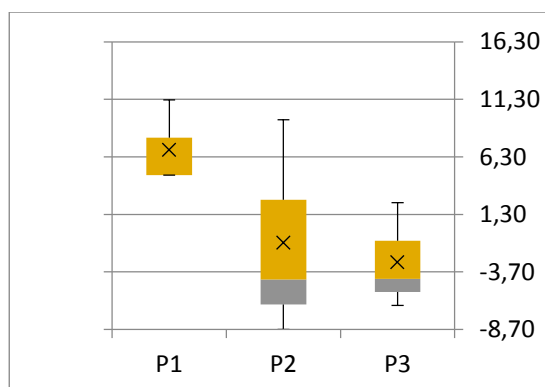


Ilustración 22. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para el ΔT durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

En el caso del parámetro de la DBO_5 (**Ilustración 23**) es el bosque de 10m de ancho (P2) el que menor capacidad presenta seguido muy de cerca por el punto P3, el punto P1 (6m de ancho sin bosque de ribera) es el que claramente mejores resultados ofrece. En cambio, los resultados son distintos para el pH (**Ilustración 24**), donde en este caso el bosque del punto P2 (10m) muestra más capacidad en la regulación de

este parámetro, y con resultados mucho más constantes a lo largo del estudio, a diferencia de los resultados del punto P1 que fueron mucho más variantes a lo largo de tiempo, y por último el punto P3 que presentó una capacidad inferior en comparación con los otros dos sitios.

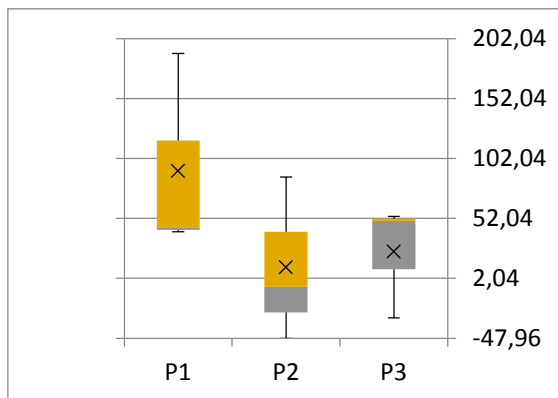


Ilustración 23. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para la DBO5 durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

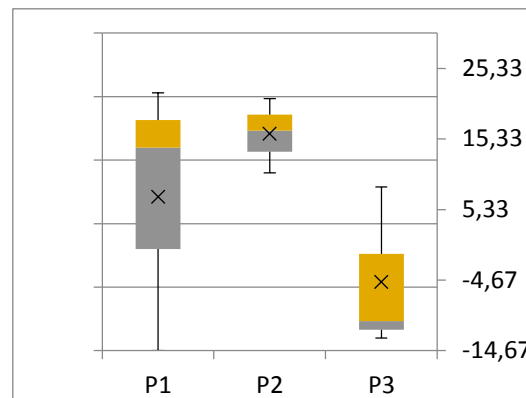


Ilustración 24. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para el pH durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

Al igual que pasó con el parámetro del pH, el punto P2 es el que muestra una mayor capacidad para regular los fosfatos (**Ilustración 25**), también se aprecia un enorme rango en los resultados de efectividad en este punto, pero es debido a una alta concentración puntual de este parámetro durante los muestreos y que no se volvió a registrar; el punto P3 nuevamente refleja los valores más bajos de efectividad. La capacidad de los bosques se ve relativamente invariante en la regulación de los nitratos (**Ilustración 26**) con efectividades bastante similares en los distintos puntos a excepción de un pico en la concentración de este nutriente, así como sucedió con los fosfatos pero que no se volvió a repetir.

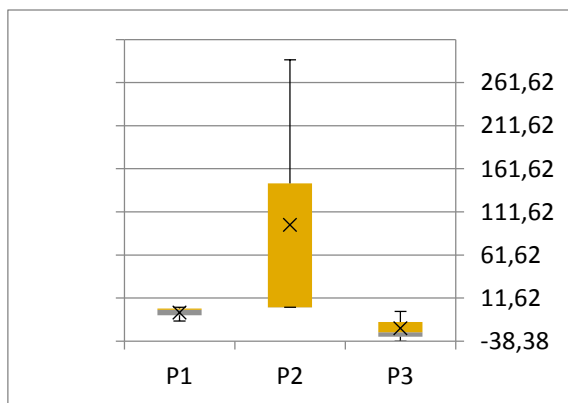


Ilustración 25. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para los fosfatos durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

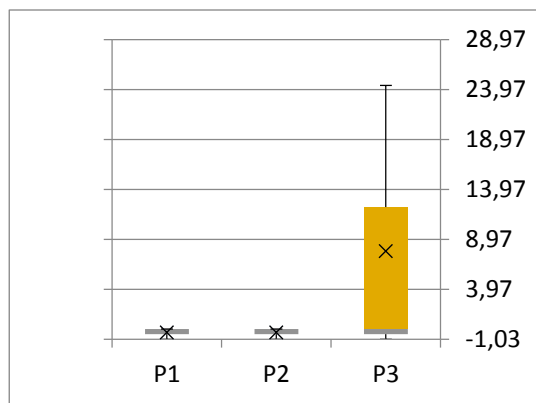


Ilustración 26. Diagrama de cajas de efectividad (%) de los puntos P1, P2 y P3 para los nitratos durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

Por último, los parámetros de turbiedad (**Ilustración 27**) y de sólidos totales (ST) (**Ilustración 28**) son los únicos que muestran una mayor capacidad en su regulación conforme el ancho de bosque incrementa. En la turbiedad la efectividad es bastante constante a lo largo del tiempo en el punto P2 a comparación de los otros dos puntos. Los resultados de efectividad para los sólidos totales se muestran igualmente dispersos en cada uno de los tres puntos, y con capacidades casi similares entre los puntos P1 y P2 siendo ligeramente mayor en este último y claramente superior en el punto P3.

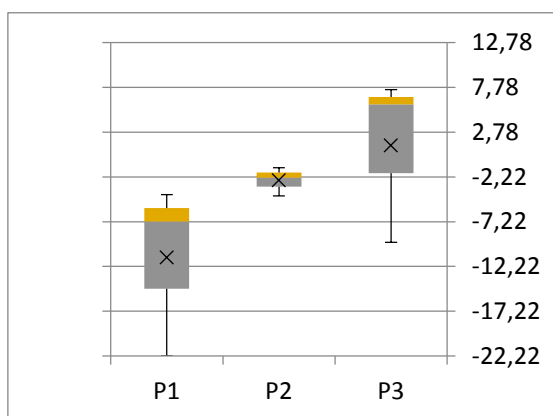


Ilustración 27. Diagrama de cajas de efectividad de los puntos P1, P2 y P3 para la turbiedad durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

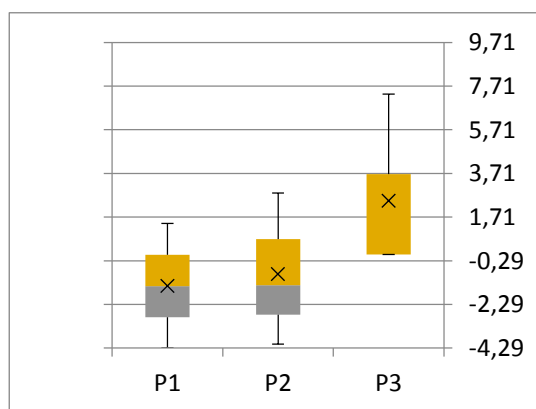


Ilustración 28. Diagrama de cajas de efectividad de los puntos P1, P2 y P3 para los ST durante los tres muestreos.

Elaboración: Autor.

4.3 Correlación entre ancho de bosques de ribera y los ICAs.

Al correlacionar las variables de anchos de bosque de ribera y las variaciones de los resultados de los ICAs entre los datos de la salida y la entrada de los bosques (resultados de efectividad), se obtuvieron los siguientes valores.

4.3.1 Correlación del ancho de bosques ribera vs variación de los ICAs (ecuación aritmética)

En este apartado se presentan los resultados del índice de correlación de Pearson obtenidos usando la ecuación aritmética, y que se pueden ver en la **Tabla 19**. En los datos de esta tabla podemos observar como las variaciones de los ICAs entre la entrada y la salida de los bosques de ribera se vuelven cada vez menores conforme la anchura va incrementando. En varios de los casos la calidad del agua a la salida de los bosques es inferior a la calidad de entrada y corresponde a los resultados con valores negativos; esto se puede apreciar principalmente en punto P3 (bosque de 15m de ancho) durante el segundo muestreo que se registró una disminución en el ICA de -12,67%, en este caso esta variación extrema se debió principalmente al bajo índice de oxígeno disuelto en el pozo de muestreo a la salida de este bosque.

Estos resultados también se ven reflejados en los índices de correlación de Pearson en donde existe una fuerte correlación inversamente proporcional, es decir que a mayor anchura menor es el mejoramiento en la calidad del agua. Esta correlación inversa se puede observar durante los 3 meses de muestreo, y se presentó aún más fuertemente en los resultados del primer y segundo mes.

		Ancho de Bosque [m]			Índice de Correlación
		Muestreos	6	10	15
Δ ICA Aritmético	1er Muestreo	9.14%	5.96%	-0.71%	-0.991
	2do Muestreo	6.01%	-0.41%	-12.67%	-0.994
	3er Muestreo	2.84%	-4.91%	-6.13%	-0.895

Tabla 19. Correlación entre anchos de bosque y variaciones de los ICAs con ecuación aritmética.

Elaboración: Autor.

Con el fin de apreciar mejor estos datos, en la **Ilustración 29** se presentan gráficamente los resultados, con sus respectivas líneas de tendencia lineales. En esta ilustración podemos observar mejor la clara tendencia lineal inversamente proporcional que obtuvimos con el coeficiente de correlación de Pearson, especialmente en los dos primeros muestreos, durante el tercer muestreo existe una ligera desviación en el

punto de 15m de ancho de bosque, pero aún sigue manteniendo una correlación inversa fuerte con un coeficiente de -0,895 (ver **Tabla 19**).

Las líneas de las diferencias de los ICAs se van desplazando hacia abajo muestreo tras muestreo, revelando que con el paso de los meses el mejoramiento del ICA a la salida de los bosques va disminuyendo con el tiempo, mientras que por otro lado los valores negativos, es decir la disminución de calidad con respecto a la entrada incrementa.

Adicionalmente podemos apreciar en el gráfico el rango de variación de los ICAs durante los tres muestreos, que esta aproximadamente entre 9% y -6%, a excepción del punto P3 en el segundo muestreo que ya se mencionó.

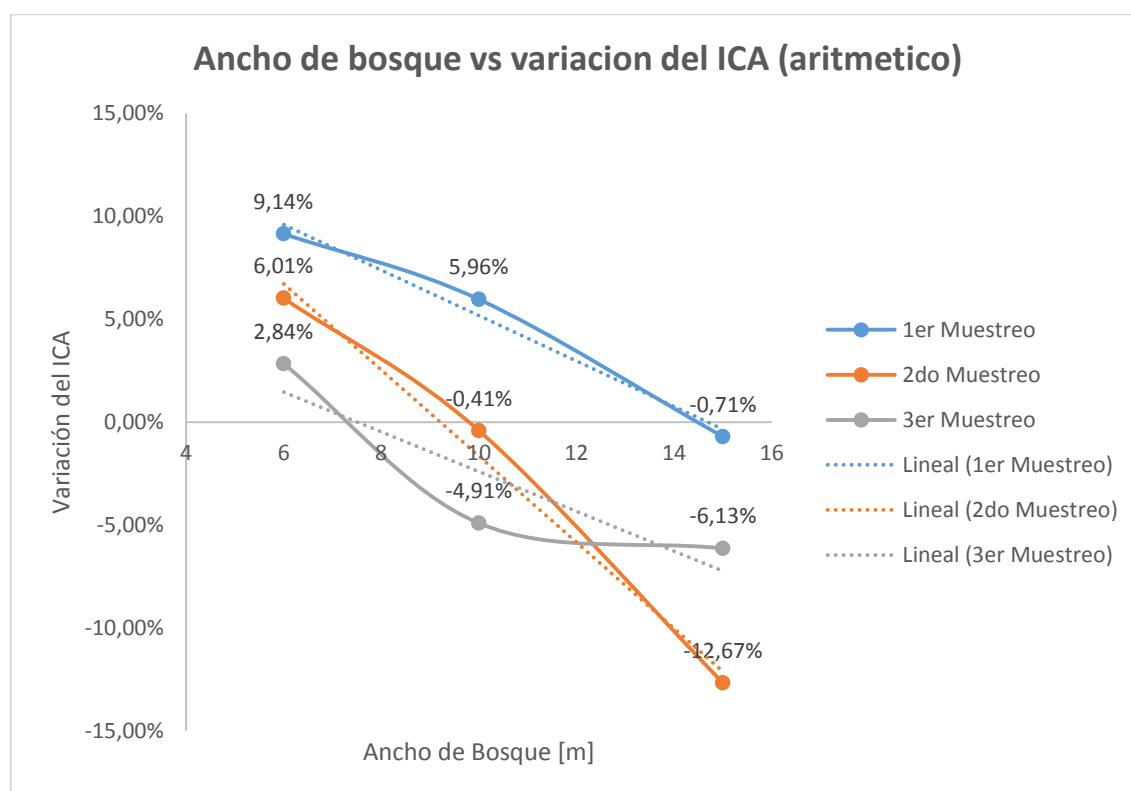


Ilustración 29. Variación de los ICAs (aritmético) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.3.1 Correlación del ancho de bosques ribera vs variación de los ICAs (ecuación geométrica).

Al igual que pasó con los resultados anteriores, con la ecuación geométrica también se obtuvieron resultados parecidos en cuanto al índice de correlación.

En este caso la mayor correlación hubo durante el primer muestreo, en donde alcanzó la correlación máxima de -1, mientras la menor correlación fue de -0,94 en el tercer muestreo. La fuerte correlación inversa queda demostrada por ambas ecuaciones de cálculo del ICA-NSF.

A comparación con los resultados obtenidos con la ecuación aritmética, la geométrica presenta variaciones considerablemente más grandes, por ejemplo, en el bosque de 15m de ancho durante el tercer muestreo con la ecuación geométrica la variación o efectividad llegó a -15,69% (ver **Tabla 20**), más del doble a la que se obtuvo con la ecuación aritmética que llegó a -6,13% (ver **Tabla 19**). Otro dato interesante en comparación con los resultados con la ecuación aritmética es que las dos diferencias más bajas que se obtuvieron con esa ecuación y que además eran negativas, en el caso de ecuación geométrica dio resultados positivos, es decir, con la ecuación geométrica revela una ligera mejora del ICA a la salida de estos sitios de estudio, que corresponden a los puntos de 15m (P3) y 10m (P2) de ancho en el primer y segundo muestreo respectivamente.

		Ancho de Bosque [m]			Índice de Correlación
		6	10	15	
Δ ICA Geométrico	1er Muestreo	15.72%	9.34%	1.07%	-0.9997
	2do Muestreo	6.65%	2.85%	-13.82%	-0.9659
	3er Muestreo	2.49%	-11.16%	-15.69%	-0.9444

Tabla 20. Correlación entre anchos de bosque y variaciones de los ICAs con ecuación geométrica.

Elaboración: Autor.

En las **Ilustración 30** podemos apreciar gráficamente los resultados ya expuestos, se puede apreciar ese comportamiento prácticamente lineal de los datos del primer muestreo que incluso coinciden con la línea de tendencia lineal, en el caso de la tendencia del segundo muestreo es menos lineal que la que se obtuvo con la ecuación aritmética y que también se pudo notar en el índice de Pearson que también resultó un poco inferior.

Además, el rango de variación de los ICAs con esta ecuación es mayor como ya pudimos observar en la **Ilustración 30**, aquí van de incrementos cercanos al 16% respecto a los valores de ingreso, hasta disminuciones del ICA de cerca del -16%. Al igual que con la ecuación aritmética, con la ecuación geométrica también se aprecia un desplazamiento de las líneas que representan los datos durante cada muestreo, y

se ubican cada vez más abajo una con respecto a los datos del mes anterior, es decir los valores positivos de las variaciones de los ICAs van disminuyendo mientras que los negativos incrementan mes tras mes.

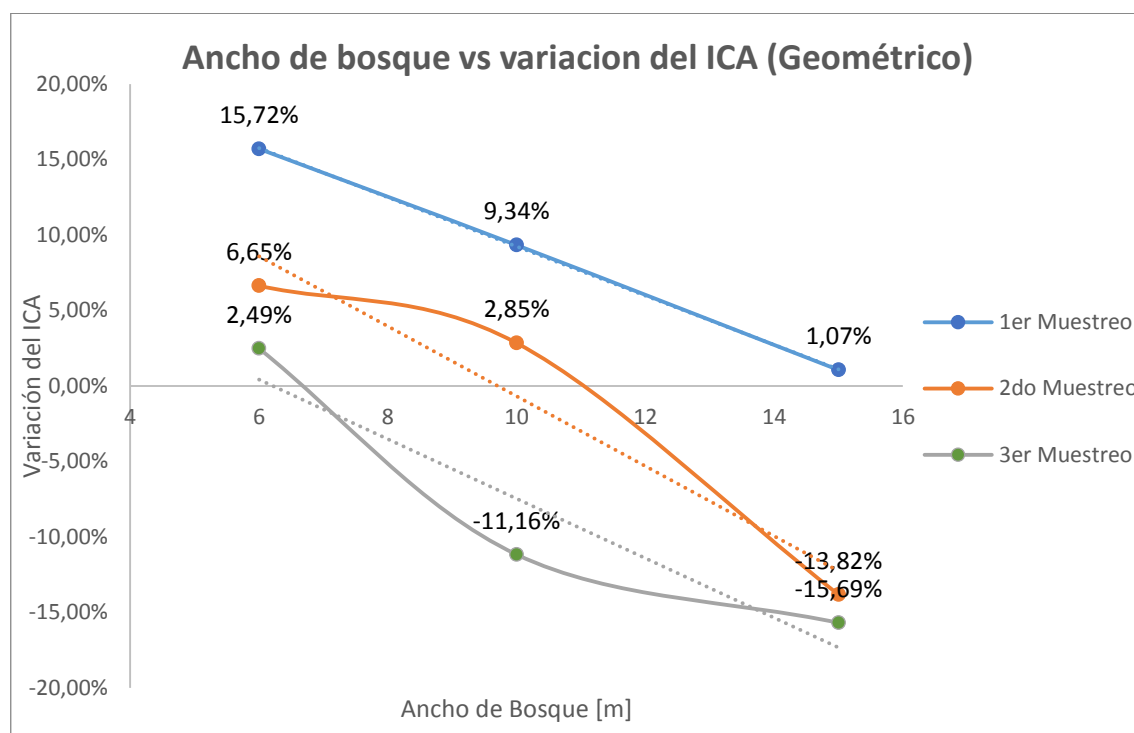


Ilustración 30. Variación de los ICAs (geométrico) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.4 Variación de los subíndices Q_i en función de los anchos de bosques de ribera.

Con la intención de determinar si todos los parámetros muestran el mismo comportamiento inversamente proporcional entre los índices y el ancho de bosque de ribera que se observó en los resultados anteriores, se procedió a analizar parámetro por parámetro, a excepción de las coliformes fecales que durante todo el estudio obtuvo un índice de 100 al haber ausencia de mismo, y por lo tanto no existió ninguna variación.

4.4.1 Variación del subíndice del Oxígeno Disuelto.

En la **Ilustración 31** se aprecia el comportamiento de la variación del índice correspondiente al parámetro de oxígeno disuelto con respecto a los diferentes bosques o sitios estudiados. En este caso no existe un comportamiento uniforme durante los tres muestreos, ya que en el primer muestreo la gráfica muestra un

comportamiento ascendente y con valores positivos en los sitios con bosque de ribera, lo que quiere decir que existía un incremento del ICA con respecto a la entrada, y que era directamente proporcional con el ancho de bosque.

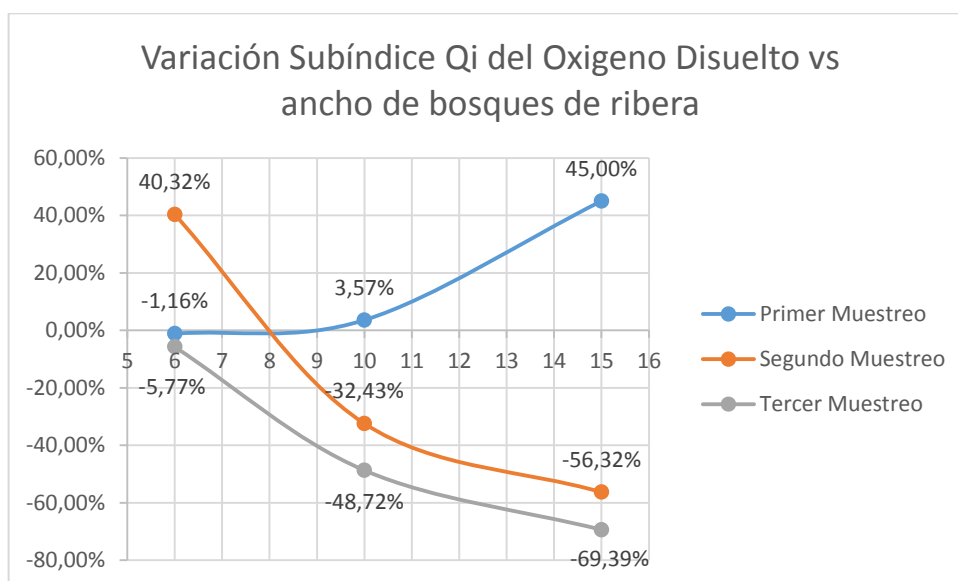


Ilustración 31. Variación del subíndice Qi (Oxígeno Disuelto) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

En cuanto al segundo y tercer muestreo los resultados son totalmente opuestos, con graficas que demuestran una disminución del índice correspondiente al oxígeno disuelto a medida que el bosque es más ancho. Además, a excepción del punto P1 (6m de ancho) todos los demás resultados durante estos dos muestreos son negativos, que reflejan una disminución de este parámetro a la salida del bosque con respecto a los valores de entrada.

Este parámetro presenta variaciones radicales entre muestreos, tanto así que en el punto P3 durante el primer muestreo existe un incremento del índice del 45%, mientras que durante el segundo muestreo en este mismo punto el índice disminuye a tal punto que llega a valores negativos de -69,39%, una disminución extrema con respecto de la muestra a la entrada de este bosque.

4.4.2 Variación del subíndice del pH.

Este parámetro tampoco muestra un comportamiento uniforme según los resultados de la **Ilustración 32**, si bien durante el primer y tercer muestreo existe una relación inversamente proporcional entre la variación del subíndice correspondiente al pH y el ancho de bosque de ribera, presentando mayores variaciones durante este último; en cambio, durante el segundo muestreo existe un comportamiento diferente, sin una

clara tendencia y con unos resultados casi totalmente opuestos a los del primer y tercer muestreo, pues en el punto P1 en los otros meses se apreciaba los mejores resultados con los valores más altos en el mejoramiento de este subíndice, mientras que en el segundo muestreo se dió la mayor disminución del subíndice (-14,67%) en comparación con los otros dos sitios. Por otro lado, en el punto P2 se dió un incremento del 25%, el mayor durante este muestreo, y en el punto P3 se obtuvo una variación casi igual a la del tercer muestreo, pero no llega a ser el más bajo como si sucedía durante los otros dos muestreos en este punto.

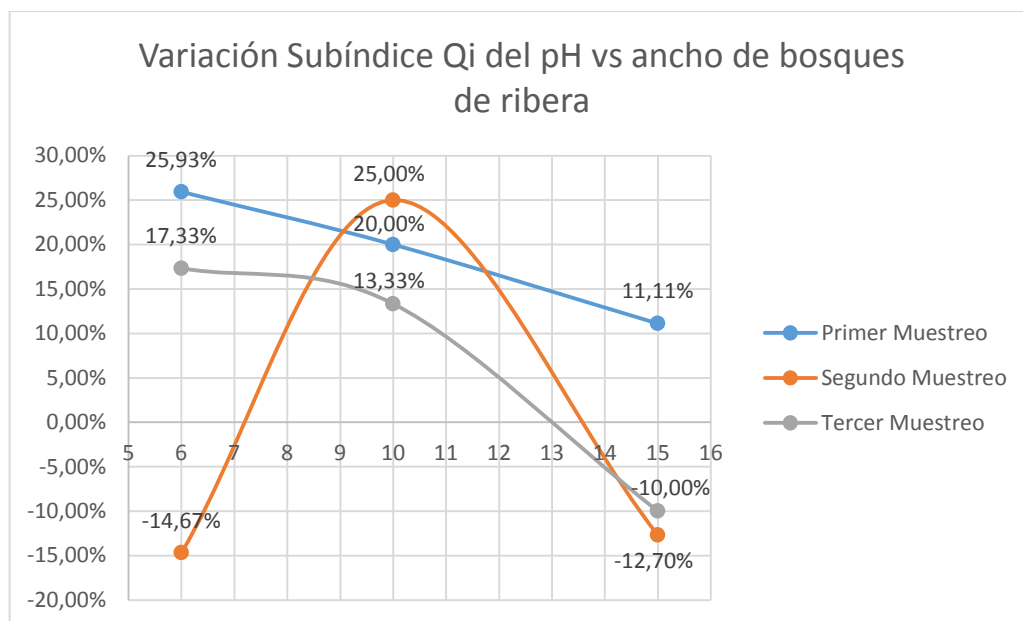


Ilustración 32. Variación del subíndice Qi (pH) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.4.3 Variación del subíndice de la DBO₅.

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno solo durante el primer muestreo existe una relación aparentemente lineal e inversamente proporcional entre los datos, con los mejores resultados en el sitio sin bosque de ribera (6m de ancho), y los resultados más bajos en el lugar con 15m de ancho de bosque de ribera.

En el segundo y tercer muestreo los resultados son distintos, con los resultados más desfavorables encontrados en el sitio de bosque de 10m de ancho, y valores positivos en los puntos P3 y P1, siendo ligeramente mejores los resultados en este último (véase la **Ilustración 33**).

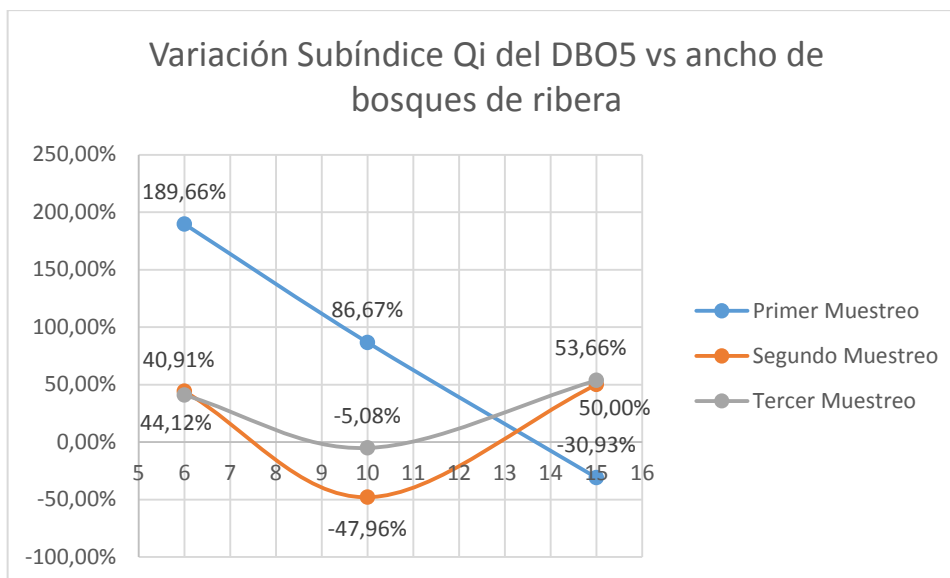


Ilustración 33. Variación del subíndice Qi (DBO5) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.4.4 Variación del subíndice de la diferencia de Temperatura.

En el caso de la diferencia de temperatura entre la muestra y la temperatura ambiente, en ninguno de los muestreos existe una variación con una correlación clara entre el parámetro y el ancho de bosque como se puede ver en la **Ilustración 34**, en el primer y tercer muestreo los resultados son similares, variaciones con resultados positivos en el sitio sin bosque de ribera (P1) y resultados negativos en los sitios con bosque de ribera de 10 y 15m de ancho (P2 y P3), en el caso del primer muestreo las variaciones en los puntos P2 y P3 son exactamente iguales mientras que en el tercer muestreo los resultados en el bosque más ancho son ligeramente mejores que los del bosque ubicado en el sitio P2.

Por otro lado, durante el segundo muestreo los resultados son diferentes, en primer lugar, en todos los puntos existe una variación positiva, adicionalmente el mejor resultado se encontró en el bosque P2, seguido por la zona sin bosque de ribera P1 y por último el bosque de mayor anchura.

Sin embargo, hay que mencionar que, si observamos las tablas con los resultados de los subíndices de este parámetro, los valores negativos que se encontraron solo en los sitios con bosque de ribera también corresponden a puntos con subíndices de más de 90 a la entrada del bosque, es decir aun con esas variaciones negativas siguen teniendo valores muy altos a la salida de los bosques.

Un dato que cabe recalcar es que la precisión de medición de la temperatura ambiente y la temperatura del agua no fue la misma, ya que para esta última se utilizó el equipo multiparámetro mientras que para la temperatura ambiente su uso utilizó un termómetro de mercurio.

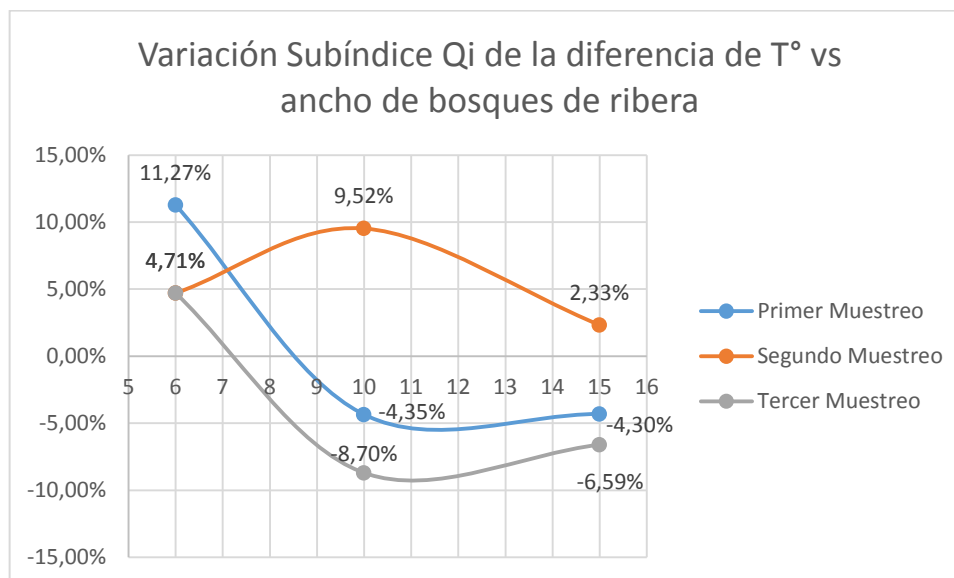


Ilustración 34. Variación del Subíndice Qi (ΔT°) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.4.5 Variación del subíndice de los Fosfatos.

En los resultados correspondientes a los fosfatos que se exponen en la **Ilustración 35**, un aspecto en común es que durante todos los muestreos los resultados del bosque P3 son los más bajos de entre los tres sitios, y siempre con valores negativos, llegando a alcanzar variaciones de hasta el -38,38% en el segundo muestreo. Durante el primer y tercer muestreo entre los lugares P1 y P2 no hubo casi variación en los resultados, de hecho, en el primer mes las variaciones en estos dos sitios fueron exactamente las mismas (1,01%), mientras que en el tercer mes los resultados fueron ligeramente inferiores en el punto P1.

En el segundo muestreo por otro lado en el punto P2 se puede apreciar un pico pronunciado en la región positiva de la gráfica, mostrando una mejora del 288%; y una disminución del -14,89% en el punto P1, un resultado mucho menor que en los otros dos muestreos en este lugar.

Hay que recordar que dicho pico observado en el punto P2 durante el segundo muestreo corresponde a aquel valor alto de la concentración de fosfatos determinada

durante un momento puntual en la muestra tomada a la entrada de este bosque, y que no se volvió a repetir en las demás muestras.

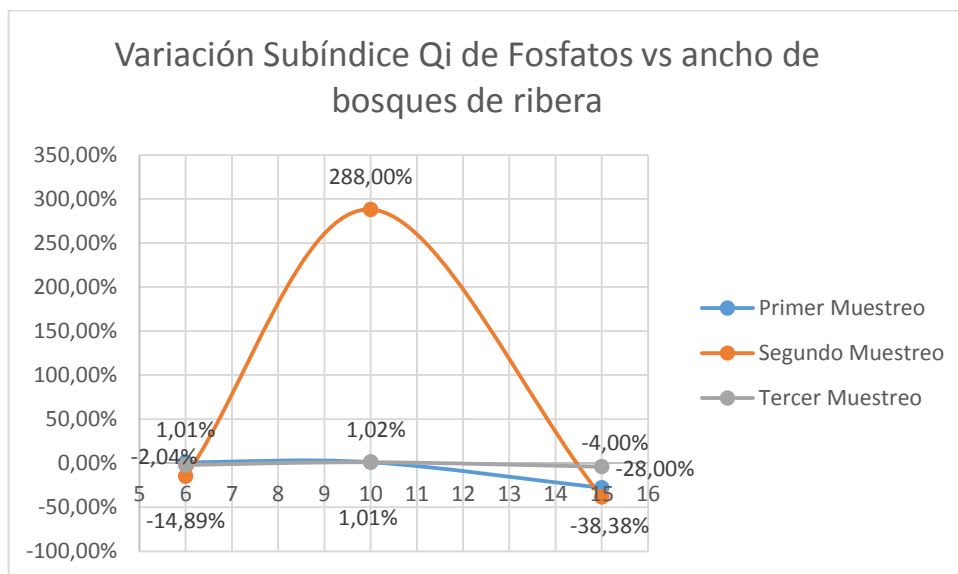


Ilustración 35. Variación del Subíndice Qi (Fosfatos) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.4.6 Variación del subíndice de los Nitratos.

A excepción del punto P3 en el primer muestreo, en donde hubo un buen incremento de 24,36% en el índice correspondiente a los nitratos, los demás sitios y meses de muestreo se presentaron relativamente sin cambios. Durante el tercer mes de muestreo no hubo ninguna variación del subíndice, manteniéndose igual en los 3 puntos, y en el segundo muestreo apenas hubo una disminución del -1,03% en los sitios P2 y P3. Por todo esto se podría decir que el valor se mantuvo prácticamente invariante a lo largo del tiempo e indiferente a los anchos de los bosques (véase la **Ilustración 36**).

Al igual que lo que pasó en el caso de los fosfatos, ese incremento de la variación del subíndice en el bosque P3 durante el primer muestreo, se debió a un incremento puntual en la concentración de este nutriente en la muestra tomada al ingreso del bosque de ribera, pero que no generó una variación tan extrema como en los fosfatos.

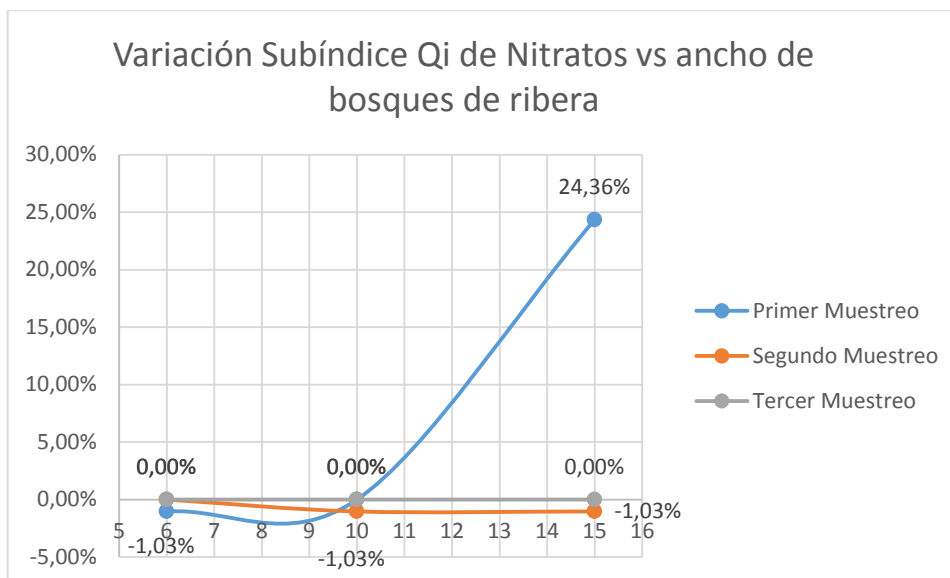


Ilustración 36. Variación del Subíndice Qi (Nitratos) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.4.7 Variación del subíndice de la Turbiedad.

En la gráfica de la **Ilustración 37** resalta que casi la totalidad de los resultados se encuentran en el cuadrante de valores negativos, demostrando un incremento en la turbiedad del agua a la salida del bosque; el peor resultado fue en el tercer muestreo en el punto P1 con una variación del -22,22%.

Valores positivos solo se encontraron en el segundo y tercer muestreo en el punto P3 con incrementos de 5,88% y 7,5% respectivamente en cada mes. El primer muestreo no muestra un comportamiento igual al de los otros meses, pero hay que considerar que el material de las paredes de los pozos se encontraba más sueltos por el hecho de que estaban recientemente excavados.

Si bien se puede apreciar que hay una cierta tendencia de graficas ascendentes, con mejores resultados a mayores anchos de bosque, los resultados siguen sin ser los esperados ya que, si bien es cierto que mejoran, siguen siendo valores negativos mayormente, mostrando un efecto desfavorable en los puntos P1 y P2 fundamentalmente, en cuanto a turbiedad se refiere.

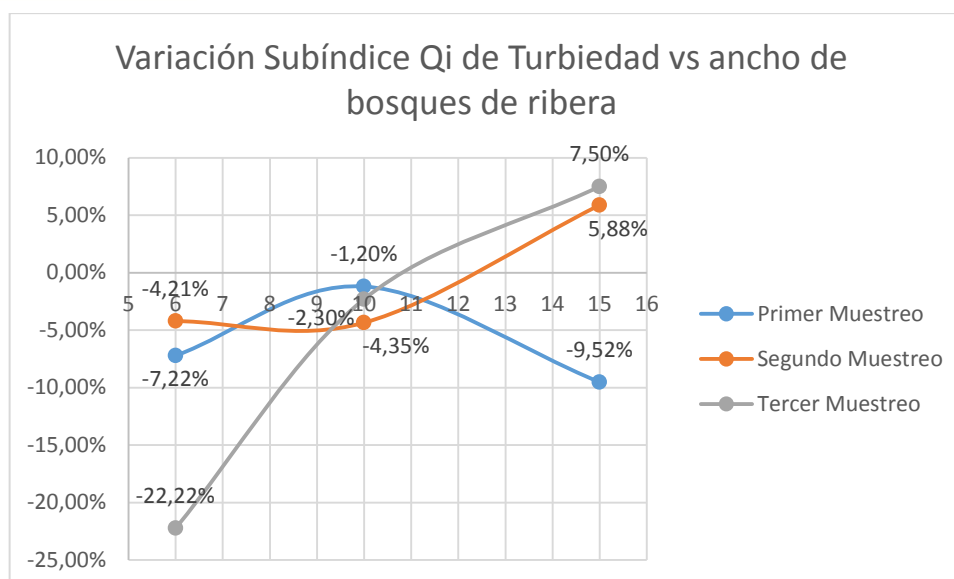


Ilustración 37. Variación del subíndice Qi (Turbiedad) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

4.4.8 Variación del subíndice de los Sólidos Totales.

Al igual que con la turbiedad, con los sólidos totales también sucede igual con el comportamiento de los datos, el segundo y tercer muestreo presentan una gráfica ascendente mientras que el primer muestreo tiene un comportamiento casi lineal sin apenas cambios, con variaciones apenas va de 1,43% en el sitio P1 hasta -1,41% en el punto P2, en el bosque más ancho no hubo ninguna variación en este muestreo.

El segundo muestreo se presenta los mejores resultados con valores negativos solo en el sitio P1, transformándose en variaciones positivas en los sitios con bosque de ribera e incrementando a medida que el ancho incrementa. Por último, los resultados del tercer muestreo son los peores, ya que los puntos P1 y P2 produjeron variaciones negativas y en el punto P3 apenas mejoraron hasta llegar a una variación del índice igual a 0%, es decir con subíndices exactamente iguales tanto a la entrada como a la salida del bosque de ribera.

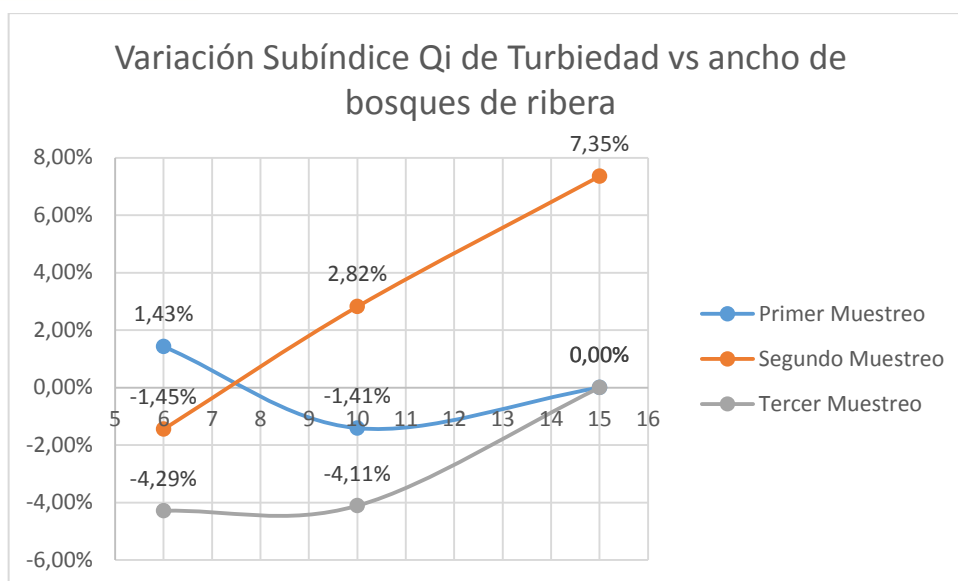


Ilustración 38. Variación del Subíndice Qi (Sólidos Totales) en función de anchos de bosque de ribera.

Elaboración: Autor.

5. DISCUSIÓN.

Los estudios realizados por otros autores respecto al efecto de bosques de riberas por lo general se centran en parámetros como fósforo, nitrógeno, sólidos suspendidos (Tate et al., 2000; Borin et al., 2005) y en algunas ocasiones otros contaminantes como pesticidas y coliformes fecales (Sheldon et al., 2005; Sullivan et al., 2007); sin embargo no se identificaron estudios que los correlacionen con otros parámetros que se usaron durante este estudio como el oxígeno disuelto, pH y algunos más que se consideran en el ICA-NSF, o por lo menos no con la toma de muestras de agua dentro del mismo bosque.

El comportamiento de los resultados varía de estudio a estudio, algunas veces con resultados opuestos. Comportamientos similares a los obtenidos en este estudio se obtuvieron en algunos más, como es el caso de la investigación realizada por Kuusemets et al. (2001) en donde encontraron un patrón eficiencias de remoción de nitrógeno y fósforo total predominantemente negativas, en concentraciones menores de 0,3mg/l y 0,15mg/l respectivamente, aunque también sucedió algunas veces con concentraciones más altas, además se demostró una buena capacidad del pasto para retener la mayor cantidad de nutrientes antes de llegar al bosque. Algo parecido sucedió en el estudio realizado por Tate et al. (2000) donde no obtuvieron reducción significativa de nitratos, así como también falló en la disminución en la concentración de fósforo utilizando una franja de vegetación de ribera de 10 m de ancho.

Borin et al. (2005) además de analizar el efecto sobre estos nutrientes, también consideraron los sólidos suspendidos, estudiando una franja de vegetación compuesta por árboles, arbustos y pasto de 6m de ancho, durante un espacio temporal de 4 años, con resultados de concentración media de nitratos y fosfatos ligeramente más altos en casi todos los años en comparación con una franja sin bosque de ribera. En dicho estudio se evaluó solo los sólidos suspendidos, en donde sí se apreció mejora comparando la franja sin bosque de ribera y la franja con bosque de ribera, pero considerando que los valores de este parámetro alcanzaban concentraciones de hasta 990mg/l, que son valores considerablemente más altos que los obtenidos en el presente estudio, inclusive aun cuando aquí se consideraron sólidos totales y no solo los suspendidos. Comparando estos datos, probablemente el bosque de ribera pueda ser más eficiente para la retención de sólidos cuando se tratan de concentraciones más altas que las obtenidas en este estudio, además de que una porción de estos sólidos pudo ser atrapados en el pasto de la zona antes de siquiera llegar a los sitios de estudio.

Ventajosamente no se registraron coliformes fecales durante el periodo de muestreo en ninguno de los puntos, por lo que no hubo valores para comparar. Sullivan et al. (2007) demostraron que franjas de ribera de tan solo 1 a 3m son capaces de reducir las concentraciones de coliformes arrastrados por agua de escorrentía, sin embargo, recomiendan anchos de mínimo 8 a 25m para que brinden servicios adicionales como el manejo de nutrientes y hábitats.

Por otro lado los valores de oxígeno disuelto disminuyeron mes tras mes en el estudio, pero esto puede deberse a que el oxígeno en suelos ribereños húmedos generalmente son bajos por la misma condición de saturación (Parkyn, 2004). Además, hay que considerar que la turbulencia del agua en los ríos, por ejemplo, es la que ayuda a disolver el oxígeno, al tener el agua un movimiento lento a través de los bosques y el suelo no se favorece la incorporación de oxígeno. Adicional a esto también hay que considerar la alta actividad microbiológica que existe en los suelos de bosque (Parkyn, 2004) que también requieren de oxígeno, y que podría responder a los bajos índices que reflejo el parámetro de DBO_5 durante algunos muestreos.

El pH fue uno de los parámetros más problemáticos por los bajos subíndices que presentaron especialmente durante el primer muestreo y más aún conforme el ancho de bosque incrementaba, debido a las características acidas que presentaba. Esto pudo deberse a que los suelos de páramo se caracterizan por ser generalmente ácidos debido a la presencia de ácidos orgánicos (entre los más conocidos el ácido húmico y el ácido fúlvico), estos bajos valores de pH también afectan la disponibilidad de los nutrientes para ser asimiladas para la vegetación (Llambí et al., 2012).

La turbiedad si bien dio predominantemente resultados negativos al calcular la variación entre el valor de salida y el de entrada a los sitios de estudio, igual se mantuvo con índices altos en todos los puntos. La turbiedad es el resultado de partículas pequeñas suspendidas, como por ejemplo de limo o arcilla así como también compuestos orgánicos y microorganismos (*Corps of Engineers Walla Walla District*, 2002) lo que explicaría los valores más altos de turbiedad a la salida de los sitios de estudio en la mayoría de muestreos.

El parámetro de variación entre temperatura ambiente y temperatura del agua, mantuvo índices más altos en los puntos con bosques de ribera, aunque los resultados en el sitio sin bosque tampoco fueron muy bajos. Brazier & Brown (1973) encontraron mediante su estudio que los bosques si son eficientes para el control de la temperatura del agua pero que el ancho del bosque no es un factor realmente determinante, sino que más bien un factor más importante sería la densidad del dosel de la vegetación.

Por último los resultados de la comparación de los ICAs con ecuación aritmética (aditiva) y geométrica (multiplicativa) concuerdan con lo que afirman Torres et al. (2009) en su análisis realizado a partir los ICAs usados para la evaluación de aguas superficiales de importancia para consumo humano, en el cual determinan que los ICAs de tipo geométrico o multiplicativo son más sensibles que los aritméticos o aditivos cuando existen variaciones extremas de los subíndices Q_i .

6. CONCLUSIONES.

La presencia de bosques de ribera no produjo el efecto esperado sobre los parámetros físico-químicos en la Cuenca del Tomebamba, en especial sobre los parámetros de oxígeno disuelto, pH y DBO_5 que fueron los que obtuvieron los subíndices más bajos, y muchas veces con valores inferiores en sitios con bosque de ribera, pero los cuales se justificaron por las propiedades que caracterizan a estos ecosistemas (suelos ácidos, saturados por lo que son pobres en oxígeno, y ricos en microorganismos). Todos los demás parámetros (Cambio de temperatura, fosfatos, nitratos, turbiedad y sólidos totales) presentaron valores similares en todos los sitios de muestreo sin una variación apreciable que permita identificar efectos claros de los bosques de ribera. Las concentraciones de fosfatos y nitratos que suelen ser los parámetros sobre los que más énfasis se hacen en estos estudios, tuvieron valores muy bajos incluso antes de entrar a la zona de vegetación, por lo que resulta difícil encontrar un efecto considerable sobre estos parámetros; sin embargo, el bosque de 15m de ancho aparenta estar funcionando como un aportador de fosfatos antes que un sumidero (aunque en pequeñas cantidades), pudiendo deberse al estado de madurez de la vegetación al ser un bosque más antiguo, por lo que al haber superado su etapa de crecimiento su capacidad de acumulación de fosfatos se reduce y por el contrario los comienza a liberar en los residuos orgánicos (como por ejemplo ramas y corteza) que se desprenden; además de que con el paso del tiempo tanto el suelo como la vegetación alcanzan un nivel de saturación que les impide retener más fosfatos.

Los resultados de la prueba estadística de ANOVA no fueron concluyentes para identificar la capacidad de los bosques de ribera para regular los parámetros que conforman el ICA NSF, sin embargo, a partir de los diagramas de cajas se pudo apreciar que los bosques de menor anchura de este estudio reflejaban una mayor capacidad en parámetros como el oxígeno disuelto y la DBO_5 , también reflejaba efectividades más altas en el parámetro de cambio de temperatura pero sin embargo con subíndices más bajos que en los otros bosques. El bosque de 10 metros de ancho presentó capacidades ligeramente superiores en parámetros como el pH y los fosfatos, mientras que el bosque de 15 metros de ancho fue mejor en la regulación de turbiedad y sólidos totales. En el caso de nitratos, todos de los tres escenarios presentaron capacidades prácticamente iguales.

Las variaciones de los ICAs presentaron resultados predominantemente superiores en el sitio sin bosque de ribera, con efectividades de hasta 9,14% con la ecuación aritmética y de 15,72% con la geométrica; mientras el bosque más ancho presentó un panorama opuesto alcanzando las efectividades más bajas, de -12,67% al usar la

ecuación aritmética y -15,69% con la geométrica. En términos generales la calidad del agua que drena difusamente desde la cuenca del Tomebamba clasifica entre BUENA y MEDIA según el sistema establecido por la NSF, con un mínimo de 62,38 y máximo de 86,37, obteniendo valores del ICA inferiores al aplicar la ecuación geométrica (multiplicativa) debido a la mayor sensibilidad a las variaciones de los parámetros. Las variaciones de los resultados entre las dos ecuaciones se vuelven más grandes cuando existen subíndices con valores demasiado bajos.

Los bosques de ribera tienen una correlación inversamente proporcional entre el ancho del bosque y su efecto en el índice de calidad de agua, con coeficientes de correlación similares utilizando las dos ecuaciones y que van desde -1 a -0,895. Dichos coeficientes pudieron alcanzar valores tan cercanos a una correlación perfecta debido al uso de una pequeña cantidad de datos (tres escenarios de estudio), pero que sin embargo corresponden con los resultados de las representaciones gráficas. Por lo tanto, existe una clara tendencia a la disminución del ICA en los sitios con bosque de ribera, al menos con este sistema de evaluación.

Si bien los bosques de ribera no presentaron los resultados esperados en el mejoramiento del índice de calidad de agua, su implementación sigue siendo favorable ya que actúan como una barrera física que impide el ingreso de ganado (bovino principalmente) hacia los márgenes del río, impidiendo una potencial contaminación con coliformes fecales, las cuales no existieron en ninguna de las muestras analizadas.

7. Recomendaciones.

Se recomienda para próximas investigaciones el empleo de ICA distinto al NSF que se ajuste mejor a las características de los bosques, o bien el desarrollo de un ICA más adecuada para su valoración en donde se le dé más importancia a parámetros correspondientes a nutrientes, sólidos totales y coliformes

Además, resultaría favorable un estudio en el cual se identifique el ancho óptimo de bosques de ribera que generen los mejores resultados, con el fin de obtener una mayor protección de los cuerpos de agua, así como también un mantenimiento y reemplazo de la vegetación madura, que se vuelve ineficiente en el control nutrientes principalmente.

BIBLIOGRAFIA.

- Arcos, I., Jiménez Otárola, F., Harvey, C. A., Campos Arce, J. J., Casanoves, F., & León, J. A. (2006). *Efecto del ancho del bosque ribereño en la calidad del agua en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Uso de comunidades de macroinvertebrados bentónicos como organismos indicadores*.
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:80/handle/11554/6122>
- Arroyo Correa, V., Millán Barrera, C., Laurel Castillo, J., & Aguilar Chávez, A. (2012). *Acoplamiento de mecanismos de DBO-OD en un modelo CFD para cuerpos de agua [WorkingPaper]*. IMTA. Coordinación de Hidráulica. Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1499>
- Belesaca Zhunio, K. D., & Peláez Palacios, K. I. (2018). *Análisis del rendimiento hídrico en cuencas de alta montaña en los Andes Ecuatorianos*.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31565>
- Bentrup, G. (2008). *Zonas de amortiguamiento para conservación: Lineamientos para diseño de zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes. Informe Técnico Gral. SRS-109. Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Estación Investigación Sur*.
- B.-M. Vought, L., Pinay, G., Fuglsang, A., & Ruffinoni, C. (1995). Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 31(1), 323-331. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)01057-F](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)01057-F)
- Borin, M., Vianello, M., Morari, F., & Zanin, G. (2005). Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(1), 101-114.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.05.011>
- Brazier, J. R., & Brown, G. W. (1973). *Buffer strips for stream temperature control* (Oregon State University). Corvallis, Or. : Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University.

- Carrasco, M., Pineda, R., & Pérez, R. (2010). *CALIDAD DEL HÁBITAT EN LOS RIOS TOMBAMBA Y YANUNCAY EN ECUADOR*. 3, 14.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Water Quality Indexes: Evolution and Trends at the Global Level. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124.
<https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Condo Carabajo, A. S., & Juela Palomeque, M. E. (2017). *Análisis del comportamiento hidrológico y estado actual del recurso hídrico en las cuencas del río Tomebamba y Yanuncay durante el año 2015*.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27757>
- Gayoso, J., & Gayoso, S. (2003). *Diseño de zonas ribereñas requerimiento de un ancho mínimo. Informe preparado para Forestal Los Lagos SA Programa de producción forestal y medio ambiente. Universidad Austral de Chile*.
- Granados, D., Hernández, M., & López, G. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 12(1), 55-69.
- Grismer, M., TOBY, A., & Lewis, D. (2006). Vegetative Filter Strips for Nonpoint Source Pollution Control in Agriculture. *ANR Publ.*, 8195.
- Hamilton, L. S. (2009). Los Bosques y el Agua. Estudio temático elaborado en el ámbito de la evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. *Estudio FAO: Montes (FAO)*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2006442029>
- Haycock, N., Burt, T., Goulding, K., & Pinay, G. (1997). *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection: The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, September 1996*. Quest Environmental.
<https://books.google.com.ec/books?id=pFx5QgAACAAJ>
- Ichwana, I., Syahrul, S., & Nelly, W. (2016). *Water Quality Index by Using National Sanitation Foundation-Water Quality Index (NSF-WQI) Method at Krueng Tamiang Aceh*. 110-117. <https://doi.org/10.21063/ICTIS.2016.1019>

- INEN, N. T. E. (2013). 2176: 2013. *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*.
- INEN, N. T. E. N. (2013). 2169: 2013. *Agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, First Edit*.
- Jouravlev, A. (2003). *Los municipios y la gestión de los recursos hídricos*. CEPAL.
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6429>
- Klapproth, J. C., & Johnson, J. E. (James E. (2009). *Understanding the Science Behind Riparian Forest Buffers: Effects on Water Quality*.
<https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/48062>
- Kuusemets, V., Mander, Ü., Lõhmus, K., & Ivask, M. (2001). Nitrogen and phosphorus variation in shallow groundwater and assimilation in plants in complex riparian buffer zones. *Water Science and Technology*, 44(11-12), 615-622.
<https://doi.org/10.2166/wst.2001.0888>
- Llambí, L., Soto Werschitz, A., Célleri, R., De Bièvre, B., Ochoa-Tocachi, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, Hidrología y Suelos del Páramo*.
- Lower Snake River Juvenile Salmon Migration Feasibility Report/Environmental Impact Statement. Summary*. (2002). CORPS OF ENGINEERS WALLA WALLA DISTRICT. <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA412682>
- Magdaleno, F. (2011). Gestión y restauración de los bosques de ribera. *Boletín del observatorio de la diversidad biológica y los procesos ecológicos en el medio rural*, 3, 7-14.
- Mander, Ü., Kuusemets, V., Lõhmus, K., & Mäuring, T. (1997). Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering*, 8(4), 299-324. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00025-6)
- Mas, F. M. (2013). Las riberas fluviales. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 104, 90-101.
- MENDOZA CARIÑO, M., QUEVEDO NOLASCO, A., BRAVO VINAJA, Á., FLORES MAGDALENO, H., DE LA ISLA DE BAUER, M. de L., GAVI REYES, F., & Jaime Andrés Farfán Fajardo



- ZAMORA MORALES, B. P. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30, 429-436.
- Minga, D., & Verdugo, A. (2016). *Arboles y arbustos de los rios de Cuenca Azuay-Ecuador*. Editorial Don Bosco.
- <https://biologia.uazuay.edu.ec/sites/default/files/public/Arboles%20y%20Arbustos%20de%20los%20r%C3%ADos%20de%20Cuenca.pdf>
- Molina Arias, M. (2013). El significado de los intervalos de confianza. *Pediatría Atención Primaria*, 15(57), 91-94. <https://doi.org/10.4321/S1139-76322013000100016>
- Möller, P. (2011). Las franjas de vegetación ribereña y su función de amortiguamiento, una consideración importante para la conservación de humedales. *Gestión Ambiental*, 21, 96-106.
- Montalván, L. (2018). *Análisis de las relaciones entre la precipitación, vegetación y el fenómeno ENOS en las subcuencas Machángara y Tomebamba del río Paute*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30598>
- NC Department Of Health and Human Services. (2009). *Las bacterias coliformes*. NCDHHS.
- https://epi.dph.ncdhhs.gov/oeo/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf
- Olilo, C., Onyando, J., Moturi, W., Muia, W., Roegner, A., Ogari, Z., Ombui, P., & Shivoga, W. (2016). Composition and design of vegetative filter strips instrumental in improving water quality by mass reduction of suspended sediment, nutrients and *Escherichia coli* in overland flows in eastern escarpment of Mau Forest, Njoro River Watershed, Kenya. *Energy, Ecology and Environment*, 1. <https://doi.org/10.1007/s40974-016-0032-9>

- Osorio, C., & Peña, D. (2002). *Determinacion de la relacion DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con poblacion menor a 25.000 habitantes en la VIII region.*
- Parkyn, S. (2004). *Review of Riparian Buffer Zone Effectiveness.*
- Peñafiel, A. (2014). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del Instituto Mexicano de tecnología del agua.*
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20919>
- Pesántez, J. (2015). *Propuesta de modelo de gestión de la subcuenca del río Tomebamba, como herramienta de manejo integrado y conservación.*
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4576>
- Podwojewski, P., & Poulenard, J. (2000). *Los suelos de los páramos del Ecuador.*
- Polyakov, V., Fares, A., & Ryder, M. (2005). Precision riparian buffers for the control of nonpoint source pollutant loading into surface water: A review. *Environmental Reviews - ENVIRON REV*, 13, 129-144. <https://doi.org/10.1139/a05-010>
- Quintero, O. C., Melendez, V. G., & Ramírez, N. J. A. (2013). Aplicación de los índices NSF, DINIUS y BMWP para el análisis de la calidad de agua de la Quebrada La Ayurá, Antioquia Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 97-108.
- Rojas, S., & Melchor, J. (2016). *Impacto del cambio del uso de suelo sobre la calidad del agua del río Tomebamba.* <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6481>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007a). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007b). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Sayausí, G. P. (2015). *Actualización Del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Cuenca, Ecuador.*

- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). (2012). *Índice de Calidad de Agua General ICA*. <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>
- Sheldon, D., Hruby, T., Johnson, P., Harper, K., McMillan, A., Granger, T., Stanley, S., & Stockdale, E. (2005). Wetlands in Washington State-Volume 1: A synthesis of the science. *Washington State Department of Ecology. Publication*.
- Si, T., & Maynor, O. (2016). *Influencia de la franja ribereña en la calidad del agua y percepción local sobre su estado y manejo en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago Atitlán, Guatemala*. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Smyth, A., Wu, L., & Muñoz-Carpena, R. (2018, diciembre 17). *Vegetative Filter Strips—A Best Management Practice for Controlling Nonpoint Source Pollution*. <https://edis.ifas.ufl.edu/ss646>
- Sullivan, T. J., Moore, J. A., Thomas, D. R., Mallery, E., Snyder, K. U., Wustenberg, M., Wustenberg, J., Mackey, S. D., & Moore, D. L. (2007). Efficacy of vegetated buffers in preventing transport of fecal coliform bacteria from pasturelands. *Environmental Management*, 40(6), 958-965. <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9012-3>
- Tate, K., Nader, G., Lewis, D., Atwill, E. R., & Connor, J. M. (2000). Evaluation of buffers to improve the quality of runoff from irrigated pastures. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55, 473-477.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 16.
- Tribunal Constitucional. (2008). Constitución de la República del Ecuador. *Quito-Ecuador: Registro Oficial*, 449, 20-10.
- Ulloa Ulloa, C., Alvarez, S., M. Jørgensen, P., & Minga, D. (2019). *Guía de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas*. Gráficas Henández. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/paramo/pdf/GuiaPlantas.pdf>



Valcarcel Rojas, L., Alberro Macías, N., & Frías Fonseca, D. (2010). *El Índice de Calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos*.
<http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/2639>

Vigiak, O., Ribolzi, O., Pierret, A., Valentin, C., Sengtaheuanghoung, O., & Noble, A. (2007). Filtrado de los agentes contaminantes del agua por la vegetación ribereña: Comparación del bambú con las pasturas nativas y el arroz en una cuenca en la República Democrática Popular Lao. *Unasylva*, 58, 11-16.

ANEXOS.**Anexo A. Puntos de muestreo.**

Ilustración 39. Primer punto de muestreo (P1) sin bosque de ribera.

Fuente: Autor.



Ilustración 40. Segundo punto de muestreo (P2) con bosque de ribera de 10m de ancho.

Fuente: Autor.



Ilustración 41. Tercer punto de muestreo (P3) con bosque de ribera de 15m de ancho.

Fuente: Autor.

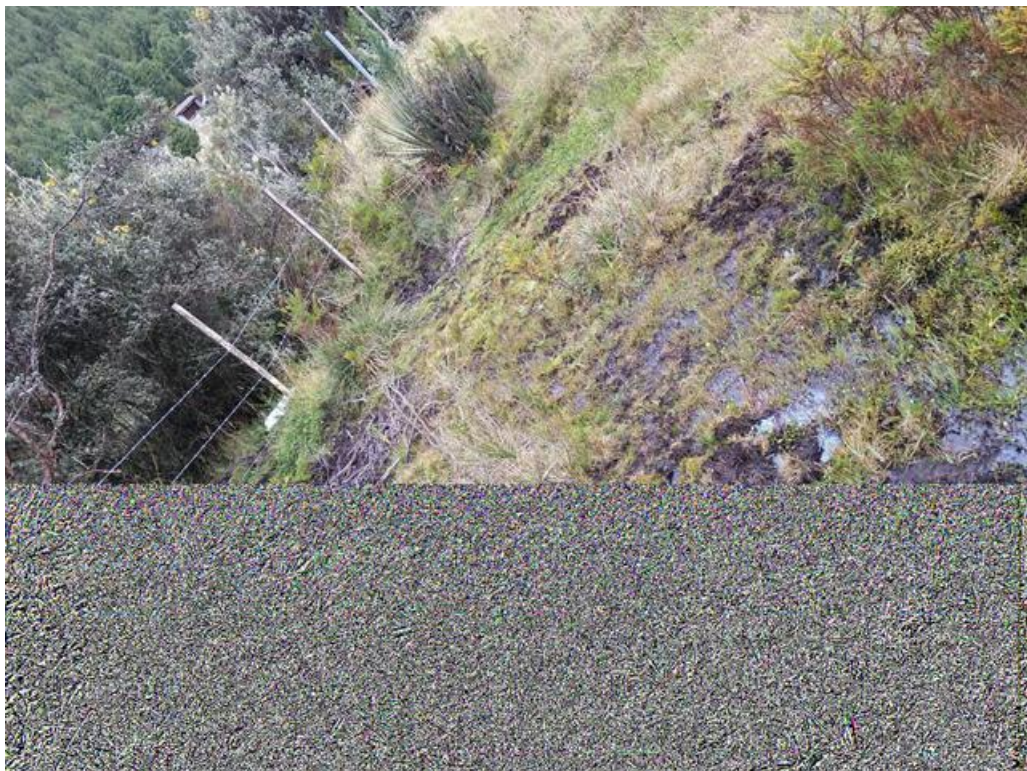


Ilustración 42. Condiciones de saturación del suelo en los sitios de muestreo.

Fuente: Autor.

Anexo B. Fuentes de contaminación difusa de la cuenca del rio Tomebamba.



Ilustración 43. Fertilización en laderas utilizando gallinaza.

Fuente: Autor.



Ilustración 44. Tala de vegetación nativa e implementación de ganadería.

Fuente: Autor.

Anexo C. Resultados de análisis de agua expedidos por el laboratorio.

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Jaime Andrés Farfan
Lugar de la toma de muestra: Sub cuenca del Río Tomebamba
Tipo de agua: Escorrentia superficial y subsuperficial
Dirección: Via Cuenca – Molleturo
Teléfono:
Fecha de la toma: 13/06/2019
Fecha del análisis: 13/06/2019

Código 33019

		Via cuenca-molleturo km 20		Via cuenca-molleturo km 21		Via cuenca-molleturo (sector restaurant "Reina del Cisne")		Unidad
		P1A	P1B	P2A	P2B	P3A	P3B	
primer muestreo	OD	79,46	78,36	77,00	79,67	61,97	80,23	% de saturación
	Coliformes totales	200	15	0	0	23	0	NMP/100ml
	Coliformes Fecales	0	0	0	0	0	0	NMP/100ml
	pH	5	5,23	4,12	4,24	3,98	4,13	
	DBO5	11,45	1,81	7,23	1,81	0,60	3,01	mg/l O2
	ΔT°	5,4	3,6	0,2	1,2	0,1	0,9	°C
	Fosfatos	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,39	mg/l
	Nitratos	0,4	0,7	0,7	0,6	3,6	0,5	mg/l
	Turbiedad	0,82	2,89	6,53	6,84	6,05	10	NTU
	Sólidos totales	219,17	215,31	215,19	219,81	239,01	239,64	mg/l

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Ilustración 45. Informe de resultados del primer muestreo emitido por el laboratorio.

Fuente: Autor.

LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE
CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Jaime Andrés Farfan
 Lugar de la toma de muestra: Sub cuenca del Rio Tomebamba
 Tipo de agua: Escorrentia superficial y subsuperficial
 Dirección: Via Cuenca – Molleturo
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 15/07/2019
 Fecha del análisis: 15/07/2019

Código 33020

		Via cuenca-molleturo km 20		Via cuenca-molleturo km 21		Via cuenca-molleturo (sector restaurant "Reina del Cisne")		Unidad
		P1A	P1B	P2A	P2B	P3A	P3B	
segundo muestreo	OD	63,1	80,2	69,2	54,4	79,8	45,8	% de saturación
	Coliformes totales	9	8	0	9	23	4	NMP/100ml
	Coliformes Fecales	0	0	0	0	0	0	NMP/100ml
	pH	6,6	6,3	5,6	6	6,28	6	
	DBO5	2,82	0,41	0,41	5,83	10,05	5,83	mg/l O2
	ΔT°	5,5	5,8	6,2	4,7	6,2	0	°C
	Fosfatos	0,15	0,31	2,26	0,07	0,02	0,49	mg/l
	Nitratos	0,5	0,1	0,3	1,3	0,4	0,7	mg/l
	Turbiedad	1,41	2,52	2,42	4,17	5,31	2,89	NTU
	Solidos totales	225,61	235,05	211,51	192,73	234,03	197,48	mg/l

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS


 Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Ilustración 46. Informe de resultados del segundo muestreo emitido por el laboratorio.

Fuente: Autor.



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sr. Jaime Andrés Farfan
 Lugar de la toma de muestra: Sub cuenca del Rio Tomebamba
 Tipo de agua: Escorrentia superficial y subsuperficial
 Dirección: Via Cuenca – Molleturo
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 02/08/2019
 Fecha del análisis: 02/08/2019

Código 33020

		Via cuenca-molleturo km 20		Via cuenca-molleturo km 21		Via cuenca-molleturo (sector restaurant "Reina del Cisne")		Unidad
		P1A	P1B	P2A	P2B	P3A	P3B	
tercer muestreo	OD	56	54	46,7	31,3	54,1	24,4	% de saturación
	Coliformes totales	0	0	0	0	9	23	NMP/100ml
	Coliformes Fecales	0	0	0	0	0	0	NMP/100ml
	pH	6,6	7	6,2	6,4	6,73	6,5	
	DBO5	3,25	1,2	4,31	4,9	8,3	3,7	mg/l O2
	ΔT°	1,9	1	0,3	2,3	0,4	2	°C
	Fosfatos	0,05	0,1	0,06	0,03	0,01	0,1	mg/l
	Nitratos	1	0,9	0,7	0,7	0,3	0,2	mg/l
	Turbiedad	3,1	13,2	4,7	5,7	7,9	5	NTU
	Solidos totales	221,60	243,10	192,55	217,83	233,37	238,05	mg/l

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Ilustración 47. Informe de resultados del tercer muestreo emitido por el laboratorio.

Fuente: Autor.